



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학박사학위논문

도시블록 단위에서 소규모 녹지가 기온저감에 미치는 효과

Air Temperature Reduction Effects of Small
Green Spaces in Urban Blocks of Seoul, Korea

2013년 8월

서울대학교 대학원
협동과정 조경학 전공
박 종 훈

도시블록 단위에서 소규모 녹지의 기온저감 효과

지도교수 이 동 근

이 논문을 공학박사학위논문으로 제출함

2013년 7월

서울대학교 대학원

협동과정 조경학 전공

박 종 훈

박종훈의 박사학위논문을 인준함

2013년 7월

위 원 장

박 종 훈



부 위 원 장

양 행 이



위

원

오 충 현



위

원

최 근 영



위

원

이 동 근



초록

도시열섬은 여름철 폭염과 열대야 일수 증가에 따른 사망률의 증가와 직접적인 원인이므로 도시열섬 저감대책이 시급한 실정이다. 열섬현상의 주원인은 인공피복 과다에 의한 기온증가로 보고됨에 따라 녹지의 냉섬기능을 활용하는 열섬대책의 필요성이 증대되고 있다. 대규모의 냉섬은 도시열섬 저감에 중요한 역할을 하나 사회적, 경제적 여건상 현실적이지 않다. 반면에 도시의 블록단위처럼 미시적 공간규모에 위치한 가로수, 자투리녹지, 소공원 등의 소규모 녹지들은 행정구에서 실행가능한 열섬대책으로 인식되고 있다.

기존연구에서 소규모 녹지의 열섬저감 효과는 실험구와 대조구가 동질적 공간단위에서 비교되지 못하였고, 다양한 규모와 유형을 제시하지 못하였다. 열섬저감을 위한 녹지확충계획과 연관된 법제도에서 활용할 수 있는 근거가 미미하였다. 이에 미시적인 도시열섬 저감요소로서 소규모 녹지를 활용하기 위해서는, 일정한 도시공간에서 녹지배치, 녹지유형 및 규모에 의한 기온저감의 효과 연구가 필요하였다.

본 연구의 목적은 도시블록단위에서 소규모 녹지가 기온저감에 기여하는지 평가하는 것이다. 또한 도시블록단위에서 기온저감 효과가 있는 소규모 녹지의 배치, 유형 및 규모를 제시하는 것이다.

연구 대상지의 선정은 광역적 도시규모에서 행정구를 선정하고, 지역적 스케일에서 미시적인 스케일의 블록들을 선정하는 순차적 공간분석방법을 활용하였다. 대상지가 속한 행정구는 건물 등의 인공피복면 비율이 높은 서울시의 중구와 종로구이다. 두 행정구에서 블록면적과 건폐율, 평균층수를 미기상의 동질적 조건으로 하고,

녹지율의 차이를 이질적 조건으로 하여, 녹지율이 높은 실험구와 녹지율이 낮은 대조구를 A, B, C 3개 그룹, 총 6개 블록을 선정하였다.

기온은 여름인 8월과 9월의 맑은 날 주간에 지상 1.5m에서 이동식 로거로 측정되었다. 1회 측정에 1~1.5시간이 걸렸고, 이를 3일 동안 반복하였다. 1일 측정에서 두 명의 인력이 실험구와 대조구 블록을 동시에 도보로 3회 이상 순환이동 하였다.

ArcGIS 9.3을 활용하여 수집된 데이터를 각 지점별 기온으로 공간화하고, 측정일과 시간에 따른 일조분석을 시행하였다.

소규모 녹지의 기온저감 효과분석을 위해 실험구와 대조구간의 블록평균기온 차이($\Delta T_{Con-Exp}$)는 SPSS 12.0의 t Test로 검증하였다. 블록 내에서 녹지와 비녹지인 양지, 건물음지 분류군 간의 기온차이는 SPSS 12.0의 Kruskal-Wallis로 검증하였다.

블록 내에서 최고기온(T_{HP})과 최저기온(T_{LP})이 비녹지 기온(T_{NGP})에 혹은 녹지기온(T_{SGP})에 속하는지 결정하기 위하여 지점별 기온에 주변 기온영향요소가 미치는 영향을 분석하였다.

6개 블록 내 소규모 녹지의 유형은 녹지 외형에 따라 면형, 선형으로 녹지 구조에 따라 단일식재형, 혼합식재형 등 4가지로 구분하였다. 소규모 녹지의 규모분석을 위해서 블록에서 추출된 녹지들의 면적과 체적을 산출하였다. 블록단위에서 소규모 녹지의 기온저감 효과($\Delta T_{NGP-SGP}$)는 블록 내 비녹지 기온에서 녹지기온을 뺀 값으로 하였다. $\Delta T_{NGP-SGP}$ 를 종속변수로 하고, 소규모 녹지 유형별 면적과 체적을 각각의 독립변수로 하는 단순회귀분석을 실시하였다.

본 연구의 결과를 전체적으로 보았을 때, 블록 6개 전체에서는 실험구가 대조구보다 최고 2.2℃ 정도로 유의성 있게 낮았고, 블록 내에서는 비녹지인 양지의 기온보다 녹지기온이 최고 4.2℃ 정도로

유의성 있게 낮았으므로 블록단위에서 소규모 녹지가 기온저감 효과를 갖는 것으로 평가할 수 있었다.

구체적인 연구 결과는 아래와 같다.

첫째로, 블록면적이 50,000m²이며, 녹지율이 실험구가 14.5%, 대조구가 2.4% 인 블록그룹 A에서 최고 0.8℃ 정도 실험구가 낮았다. 블록면적이 98,000m²이며, 녹지율이 실험구가 38%, 대조구가 6.4% 였던 블록그룹 B에서 최고 1.9℃ 실험구가 낮았다. 블록면적이 110,000m²이며, 녹지율이 실험구가 19.5%, 대조구가 9% 인 블록그룹 C에서 최고 2.2℃로 실험구의 평균기온이 대조구보다 항상 낮았다. 이에 블록의 기온을 2℃ 정도 저하시키기 위해서는 녹지율이 20% 정도가 확보될 필요가 있음을 제시할 수 있었다.

둘째로, 블록별로 양지기온(T_{SP}), 건물음지기온(T_{BSP}), 녹지기온(T_{SGP})에 대한 평균값을 가지고, 분류군과 블록 내 최고기온과의 차이를 검증한 결과 블록그룹 B, C에서는 99%, A에서는 90% 유의수준에서 블록최고기온보다 0.4~2.9℃ 이상 녹지기온이 낮았다. 녹지기온은 건물음지기온보다 대체로 0.5℃ 정도 낮으며, 양지기온보다는 최고, 1.5℃ 낮게 나타났다. 이에 소규모 녹지를 건물음지가 생기지 않는 양지에 조성하게 되면 건물음지 구간과 함께 기온하강의 효과를 나타낼 수 있음을 알 수 있다.

셋째로, 블록 내 최고기온을 나타내는 지점(T_{HP})은 대체로 측정지점 주변이 인공피복면으로 이루어진 양지(T_{SP})이며, 녹지나 건물그늘 등의 기온저감 요소가 없는 비녹지의 경향을 보였다. 최저기온을 나타내는 지점(T_{LP})은 일정규모 이상의 녹지와 건물그늘이 측정지점과 가깝게 위치하는 경향을 보였다. 소규모 녹지의 블록단위 기온저감 효과($\Delta T_{NGP-SGP}$)는 최고기온지점보다 0.8~4.0℃ 낮은 것으로 나타났다.

넷째로, 6개 블록에서 추출된 소규모 녹지지점은 총 45개소로 나

타났으며, 면형은 16개소, 선형은 29개소, 단일식재형은 30개소, 혼합식재형은 15개소였다. 단순 선형 회귀분석을 한 결과, 면형과 혼합식재형 녹지가 99% 이상의 유의확률에 R^2 이 90% 이상으로 높았다. 이들 유형은 면적과 체적이 증가하면서 블록 내에서의 기온저감의 효과($\Delta T_{NGP-SGP}$)도 증가하였다. 분석된 녹지의 기온저감 효과는 0.4~4.2℃의 범위를 가지며, 분석된 규모의 범위는 면적이 100~2,000m², 체적이 1,000~10,000m³ 인 것으로 나타났다. 블록 내에서 비녹지인 양지보다 적어도 1℃ 이상 낮은 소규모 녹지를 조성하려면 적어도 면형이나 혼합식재지 유형을 띠어야 하고, 녹지면적은 200m² 이상 그리고 녹지체적은 2,000m³ 이상이 요구되는 것으로 나타났다. 2℃ 이상 낮게 조성하려면, 면적이 650m² 이상, 체적은 5,000m³ 이상이 요구되는 것으로 나타났다.

결론적으로 본 연구에서는 도시열섬의 세부적인 파악과 실용적인 열섬대책을 위해서는 미시적인 기후를 나타내는 블록과 같은 공간 단위 설정이 요구되며, 도시의 작은 공간일지라도 소규모 녹지가 규모나 유형을 고려하여 효과적으로 배치하게 되면 기온저감 효과가 유효한 것으로 나타났다. 열섬저감을 위해서 고려해야 할 소규모 녹지의 계획적인 요소들을 제시하였으므로 향후 관련 정책과 계획수립의 근거를 마련하였다는 점에서 본 연구는 의의가 있다.

향후연구를 통해서 도시 내 다른 패턴의 공간구조에서 녹지가 열섬저감에 미치는 영향을 세부적으로 파악하고, 관련 측정기술들이 함께 접목되어 데이터가 축적된다면 지구단위와 같은 작은 규모의 공간에 대한 열섬대책계획의 예측에 활용할 수 있을 것이다.

주요어 : 도시열섬저감, 도시녹지 규모, 기온저감효과, 지역기후지구, 이동측정, 미시적 도시공간단위
학 번 : 2008-30681

목 차

I. 연구의 배경 및 목적	1
1.1 연구의 배경	1
1.2 연구의 목적	6
 II. 연구사	 7
2.1 도시열섬 현상과 대책에 관한 고찰	7
2.2 미기후적 도시열섬 공간단위와 구성요소 고찰	10
2.3 도시 소규모 녹지의 기온저감 효과에 관한 고찰	16
2.4 소결	18
 III. 연구의 범위 및 방법	 21
3.1 연구 범위	21
3.1.1 용어의 개념정의	21
3.1.2 시간적 범위	23
3.1.3 공간적 범위	24
3.2 연구 방법	27
3.2.1 공간위계분석을 통한 대상블록의 선정	27
3.2.2 도보이동을 통한 기온의 반복측정	35
3.2.3 블록단위에서 소규모 녹지의 기온저감 효과분석	38
3.2.4 소규모 녹지 유형 및 규모에 따른 기온저감 분석	40

IV. 결과 및 고찰 43

4.1 블록그룹별 기온 반복측정 결과 43

4.2 블록그룹에서 소규모 녹지의 기온저감효과 46

4.2.1 1차 측정에서 소규모 녹지의 블록기온 저감효과 46

4.2.2 2차 측정에서 소규모 녹지의 블록기온 저감효과 48

4.2.3 3차 측정에서 소규모 녹지의 블록기온 저감효과 50

4.2.4 전체 측정에서 소규모 녹지의 블록기온 저감효과 52

4.3 블록단위에서 소규모 녹지의 기온저감 효과 54

4.3.1 블록 지점별 기온측정 결과 54

4.3.2 측정지점 기온영향요소로서 소규모 녹지의 효과 57

4.3.3 비녹지기온과 소규모 녹지기온의 차이 67

4.3.4 소결 69

4.4 소규모 녹지 유형과 규모에 따른 기온저감 효과 71

4.4.1 소규모 녹지 규모 산출을 위한 데이터 추출결과 71

4.4.2 녹지외형별 규모에 따른 블록단위 기온저감 효과 71

4.4.3 녹지구조별 규모에 따른 블록단위 기온저감 효과 74

4.4.4 소결 76

V. 결론 79

5.1 연구결과 요약 79

5.2 연구의 한계 및 의의 81

5.3 향후 연구 83

참고문헌	85
------------	----

부록

Appendix 1. 블록별 소규모 녹지 개요	91
Appendix 2. 서울시 중구와 종로구의 블록현황	109
Appendix 3. 반복기온측정 조건	115
Appendix 3. 블록별 기온측정지점 및 이동루트	116
Appendix 4. 블록별 일조분석 결과	120
Appendix 5. 블록별 건물그늘, 녹지, 양지 분류군	124
Appendix 6. 소규모 녹지 유형별 및 규모별 ΔT_{HP-SGP}	126

Abstract	129
----------------	-----

표 차례

Table 2-1. Commonly hypothesized causes of the canopy layer UHI	14
Table 3-1. Rank of building floor areas' ratio in built-up region	29
Table 3-2. Area of commercial and industrial land use zones	29
Table 3-3. Result of selecting research regions	30
Table 3-4. Selecting indicators of target blocks	32
Table 3-5. Identical range of indicators in selecting target blocks	32
Table 3-6. Target blocks within block groups	33
Table 3-7. Field checking items of target blocks' present condition	34
Table 3-8. Air temperature measurement device for the research	36
Table 3-9. Set of measurement conditions by block	37
Table 3-10. Blocks' air temperature measurement repeat count	37
Table 4-1. Result of air temperature in group A	43
Table 4-2. Result of air temperature in group B	44
Table 4-3. Result of air temperature in group C	45
Table 4-4. Result of paired samples test about experimental & control group in repeat1	46
Table 4-5. Averaged air temperature by block groups in repeat1	47
Table 4-6. Result of paired samples test about experimental & control group in repeat2	48
Table 4-7. Averaged air temperature by block groups in repeat2	49
Table 4-8. Result of paired samples test about experimental & control group in repeat3	50
Table 4-9. Result of air temperature measurement by block groups in repeat 3	51
Table 4-10. Result of paired samples test in experimental & control group in total repeat	52
Table 4-11. Evaluation of T_{NGP} or T_{SGP} by analysis of which land cover pattern influenced to reach T_{HP} or T_{LP} within block AE	58
Table 4-12. Evaluation of T_{NGP} or T_{SGP} by analysis of which land cover pattern influenced to reach T_{HP} or T_{LP} within block AC	59
Table 4-13. Evaluation of T_{NGP} or T_{SGP} by analysis of which land cover pattern influenced to reach T_{HP} or T_{LP} within block BE	61

Table 4-14. Evaluation of T_{NGP} or T_{SGP} by analysis of which land cover pattern influenced to reach T_{HP} or T_{LP} within block BC	63
Table 4-15. Evaluation of T_{NGP} or T_{SGP} by analysis of which land cover pattern influenced to reach T_{HP} or T_{LP} within block CE	65
Table 4-16. Evaluation of T_{NGP} or T_{SGP} by analysis of which land cover pattern influenced to reach T_{HP} or T_{LP} within block CE	66
Table 4-17. Result of Kruskal-Wallis with k samples by blocks	67
Table 4-18. Air temperature differences between 3 classifications by blocks	68
Table 4-19. Simple linear regression result of $\Delta T_{NGP-SGP}$ with small green spaces' area and volume in polygon and linear type	72
Table 4-20. Simple linear regression result of $\Delta T_{NGP-SGP}$ with small green spaces' area and volume in single and mixed type	74
AX-Table 1. Characteristic of small green areas in block AE	92
AX-Table 2. Characteristic of small green areas in block AC	95
AX-Table 3. Characteristic of small green areas in block BE	98
AX-Table 4. Characteristic of small green areas in block BC	101
AX-Table 5. Characteristic of small green areas in block CE	104
AX-Table 6. Characteristic of small green areas in block CC	107
AX-Table 7. 152 Blocks' index with Selecting indicators(1/4)	111
AX-Table 8. 152 Blocks' index with Selecting indicators(2/4)	112
AX-Table 9. 152 Blocks' index with Selecting indicators(3/4)	113
AX-Table 10. 152 Blocks' index with Selecting indicators(4/4)	114
AX-Table 11. Measurement date, time and repeat	115
AX-Table 12. Result of Solar Radiation Analysis in block group A	120
AX-Table 13. Result of Solar Radiation Analysis in block group B	121
AX-Table 14. Result of Solar Radiation Analysis in block group C	122
AX-Table 15. Air temperature points of building shade, small green, and sunny place in block group A and B	124
AX-Table 16. Air temperature points of building shade, small green, and sunny place in block group C	125
AX-Table 17. Scale information of small green from blocks(1/2)	126
AX-Table 18. Scale information of small green from blocks(2/2)	127

그림 차례

Figure 1-1. UHI with cause of occurrences	2
Figure 1-2. Application of small greens on urban streets and blocks	5
Figure 2-1. The increase of temperature for 40 years(1968~2008)	7
Figure 2-2. The averaged days of high temperature in Seoul	8
Figure 2-3. The mean daily max. temperature with mean daily death in Seoul	8
Figure 2-4. Urban boundary layer and Urban canopy layer	11
Figure 2-5. The general classification of thermal climate zones and local climate zones	12
Figure 3-1. Research site of Seoul within Jongno-gu and Jung-gu	24
Figure 3-2. Location of six blocks	25
Figure 3-3. Scale and form of six blocks	26
Figure 3-4. Spatial analysing process to select target blocks	27
Figure 3-5. Selecting process of target autonomous regions	28
Figure 3-6. Process of drawing up block map	31
Figure 3-7. Process of ratio of building coverage in a block	31
Figure 3-8. Process of drawing up of target blocks' map	34
Figure 3-9. Process of air temperature point map	38
Figure 3-10. Analysis of building shade on a target block	39
Figure 3-11. Research flowchart	42
Figure 4-1. Averaged air temperature by points in group A	54
Figure 4-2. Averaged air temperature by points in group B	55
Figure 4-3. Averaged air temperature by points in group C(repeat 2, 3)	56
Figure 4-4. Air temperature by points in Block AE	57
Figure 4-5. Air temperature by points in Block BE	60
Figure 4-6. Air temperature by points in Block CE-repeat 2, 3	64
Figure 4-7. Air temperature by points in Block CC-repeat 2, 3	66
Figure 4-8. Polygon type of small greens' air temperature reduction by their area and volume	73
Figure 4-9. Mixed type of small greens' air temperature reduction by their area and volume	75

AX-Figure 1. Survey map of block AE	91
AX-Figure 2. Street trees in block AE	93
AX-Figure 3. Public and Semi-Public green spaces in block AE	93
AX-Figure 4. Survey map of block AC	94
AX-Figure 5. Street trees in block AC	96
AX-Figure 6. Semi-Public green spaces in block AC	96
AX-Figure 7. Survey map of block BE	97
AX-Figure 8. Street trees in block BE	99
AX-Figure 9. Semi-Public green spaces in block BE	99
AX-Figure 10. Survey map of block BC	100
AX-Figure 11. Street trees in block BC	101
AX-Figure 12. Semi-Public green spaces in block BC	102
AX-Figure 13. Survey map of target block CE	103
AX-Figure 14. Street trees in block CE	105
AX-Figure 15. Semi-Public green spaces in CE	105
AX-Figure 16. Survey map of block CC	106
AX-Figure 17. Street trees in block CC	108
AX-Figure 18. Semi-Public green spaces in block CC	108
AX-Figure 19. Blocks in target regions	109
AX-Figure 20. Walking route and points in Block AE and AC	116
AX-Figure 21. Walking route and points in Block BE and BC	117
AX-Figure 22. Walking route and points in Block CE-repeat 1,2&3	118
AX-Figure 23. Walking route and points in Block CC-repeat 1,2&3	119
AX-Figure 24. Comparison simulation with real ones in solar radiation	123

I. 연구의 배경 및 목적

1.1 연구의 배경

지구온난화와 같이 전 지구적으로 나타나고 있는 기후변화 현상에 대하여 인류는 극복이 아닌 적응에 점차 무게를 두고 있다. 여름철 폭서, 겨울철 폭한과 같이 급작스레 발생하여 인류에게 막대한 피해를 입히는 자연현상 앞에서 인류는 완벽한 방어가 사실상 불가능하며, 단지 그 피해를 최소화하기 위한 경보발령이 고작이기 때문이다¹⁾. 이러한 극한의 기후현상은 그 원인의 주체가 자연인지, 인간인지조차 아직 불분명하다. 그런데, 도시로 그 범위를 좁혀보면 기후변화를 일으키는 주체는 인간이라는 점이 보다 명확해진다.

도시의 기후현상은 산업발달과 도시화과정에서 자연이 점유하던 공간이 점차 인공적인 공간으로 변모하게 되면서 일사와 폐열로 인하여 열이 과도하게 집중되는 경향을 보인다. 여름철 낮 기온의 상승으로 인한 열사병 빈도의 급증²⁾과 열대야에 따른 수면부족과 스트레스 등의 문제(김해동과 한상주 역, 2011)는 도시의 여름기후 현상으로 대표되고 있다. 한국에서도 대도시가 위치하고 있는 서울, 부산, 광주, 전주, 대구 등에서 35℃ 이상의 폭서가 계속되고 있으며, 지속시기도 10일 정도로 과거보다 증가하고 있음이 보고되고 있다(이종범 등, 1993; 이광호와 정인숙, 2002; 명수정, 2009). 이러한 폭서발생의 주원인으로 지적되고 있는 것이 도시를 구성하고 있는 과도한 인공포장에 의한 방사열, 건물과 자동차 등에서 발

-
- 1) 특히 여름철에 발생하는 폭서는 허리케인이나 토네이도와 같이 자연재해로 인한 물리적인 손상이 아니라 가파르게 상승된 기온으로 인해 발생하고 있으며, ‘조용한 살인자(silent killer)’로 불리울만큼 예견하기가 어렵다. 그 피해규모도 2003년 여름 유럽에서 35,000명의 사망원인이 폭서인 점을 놓고 보면 재해가 아닐 수 없다(Kalkstein et al., 2008).
 - 2) 2001년 여름 일본 오사카시의 하루 최고 기온과 열사병 반송자수의 관계를 보면 32℃에서 증가하다가 35℃ 부근에서 급격한 증가를 보인다. 여기서는 기온이 열사병의 가장 주된 원인인 것으로 보았다(김해동과 한상주 역, 2011)

생되는 폐열과 고층 건물들의 고밀화된 배치 등으로서 도시를 다른 지역과 구분하는 특징적인 요소이기도 하다.

도시기후의 특성은 도시지역과 주변지역의 기온을 비교하였을 때 도시지역이 하나의 섬과 같이 고온의 영역을 보이게 되는데, 이러한 형태를 일컬어 도시열섬(UHI, Urban Heat Island, Oke, 1997)이라 한다(Fig. 1-1).

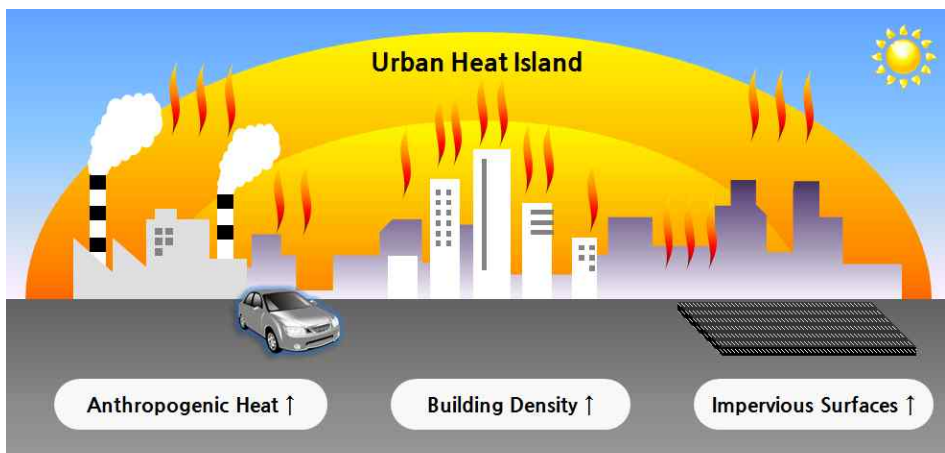


Figure 1-1. UHI with cause of occurrences

環境省(2009)(revised)

도시기후의 대표적인 현상인 도시열섬이 발생하게 되는 이유와 메커니즘에 대한 연구들은 유럽을 시작으로 하여 북미, 아프리카, 한국에 이르기까지 진행되어 왔다. 도시열섬 현상은 대도시일수록 가중되며, 녹지의 감소, 인공피복면 과다와 인공열 증가 등이 공통적인 원인으로 지적되고 있다. 이러한 원인규명과 함께 열섬저감을 위한 대책들도 기후변화 적응대책의 일환으로 연구되고 있다.

열섬의 원인인 건물과 도로 등의 인공피복면 전체를 자연피복으로 대체하거나 자동차 운행 또는 건물 사용을 제한하는 조치들은 확실한 열섬대책일 수 있다. 그러나 열섬현상 저감이 아무리 중요

한 목적을 가진다 할지라도, 그동안 도시를 운영하고 유지시켜 온 도시기반시설들을 단기간 동안 총체적으로 변경하는 것은 현실성 없는 접근방식이 될 것이다³⁾. 이에 기존 도시구조의 변경을 최소화하면서도 열섬저감의 효과가 확실한 대책들이 강구되어 왔으며, 도시녹지가 특히 주목되고 있다.

도시녹지는 휴게와 자연경관을 제공하는 등 인간 삶의 질을 높이는 문화여가시설일 뿐만 아니라 생물다양성을 높여주고, 수원을 함양하며, 방풍과 대기오염의 저감, 도시홍수를 줄여주는 등 도시기반시설로서의 순기능들을 가지고 있으며, 다양한 목적에 맞게 확충되어 왔다. 특히 도시녹지가 갖는 그늘제공과 습도조절 기능은 도시기후적 관점에서 냉섬으로 작용하게 하며, 대규모 공원이나 산림이 대표적인 냉섬으로 알려져 있다(Ca et al., 1998; 박인환 등, 2000; 권영아, 2002; Bowler et al., 2010). 이러한 근거를 바탕으로 녹지네트워크 계획, 광폭의 선형녹지를 이용한 바람통로계획 등이 공동주거단지나 신도시계획 등에서 활용되어 왔다. 그러나 대규모 냉섬을 확충하기 위해서 토지매입과 조성에 요구되는 사회적, 경제적 비용은 때때로 시정부나 행정자치구의 수용능력을 벗어나게 되며⁴⁾, 대규모의 피복개선이 요구된다. 이에 반해 미시적인 공간규모에서 관찰되며, 비록 규모는 상대적으로 작지만 조성비용이 적은 다수의 녹지들도 도시에 분포하고 있다. 이들을 냉섬으로 활용하게 되면 열섬저감이 필요한 지역에 효과적으로 적용할 수 있는 대책이 될 것이다. 미시적인 열섬저감 효과가 모여 도시적인 열섬저감을 도모할 수 있게 되는 것이다.

3) 열섬효과에 의한 피해가 아무리 크다고 할지라도 현재 유지되고 있는 도시구성의 기본요소들을 완전히 바꾸는 것은 불가능하며, 단시간에 이루어질 수 있는 것도 아니다. 더욱이 그 소유가 국가나 지방정부가 아닌 민간일 때는 법 규정과 제도로만 계도가 가능한 실정이다.

4) 국토해양부에서 진행 중인 용산공원과 같은 대규모의 공원을 조성함에 있어서 공원화를 위한 정부 절차상의 어려움은 차치하고서라도 토지매입과 조성을 위한 자금은 녹지가 가진 경제적인 가치를 무색하게 할 만큼 막대할 것으로 예상되고 있다.

미시적인 열섬저감 대책이 현실화되기 위해서는 녹지의 추가적 확보를 정책적, 제도적으로 지원하여야 한다. 한국에서 도시녹지와 관련된 대표적인 상위법으로는 국토의 계획 및 이용에 관한 법률, 건축법 그리고 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률 등이 있다(박종훈 등, 2011). 그런데 국토의 계획 및 이용에 관한 법률에서는 도시녹지가 갖는 도시인프라로서의 의미만을 규정하고 있으며, 건축법과 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률에서는 도시녹지의 면적률과 광역적 공간규모에서의 공원 및 녹지계획에 관하여 규정하고 있어, 미시적인 공간규모에서의 열섬대책으로 도시의 소규모 녹지를 활용할 수 있는 법제도와 녹지계획방법은 아직 미미한 실정이며, 근거로서 작용할 수 있는 열섬저감 효과를 갖는 최소규모의 녹지를 제시하는 연구 또한 미미하다.

미시적 열섬대책의 실효성 측면에서 볼 때, 추가적으로 검토되어야 할 것이 관리주체와 공간단위이다. 열섬대책을 기획하고 정책을 입안하는 것은 광역적 공간규모를 관장하는 시에서 하게 되나 미시적으로 대책을 시행하여 결과를 양산하는 주체는 행정구가 되기 때문이다. 행정구의 관리영역에 미시적 공간단위와 함께 작은 규모의 녹지가 포함되는 것이다. 그러나 행정구에서 관장할 수 있는 열섬대책들은 아직 미미하다⁵⁾. 일본의 사례(環境省, 2009)에서 보듯이(Fig. 1-2), 도시의 작은 공간단위에 소규모 녹지를 적용함으로써 기온저감 효과를 도모하고 있다는 점⁶⁾은 본 연구의 필요성을 높이는 근거가 된다.

-
- 5) 2009년 5월 20일 서울에서 개최된 C40 제3차 세계도시 기후 정상회의 서울선언문에서 기후변화 영향의 하나로 도시열섬을 들고 있으며, 도시계획에 반영하도록 하고 있으나(최영수, 2009) 2012년 현재까지 열섬대책에 대한 구체적인 움직임은 보이지 않는다.
- 6) 도쿄역 근처 마루노우치의 시가화된 거리에 녹지를 확충함으로써 여름 폭서를 관리한 사례에서는 소규모의 수목교체를 통해서 폭서영향이 적은 거리로 바뀌었고, 나고야 시에서는 블록단위 녹화계획을 추진하여 국지적인 열섬을 줄이기 위한 정책을 마련하였다(環境省, 2009).



Figure 1-2. Application of small green spaces on urban streets(upper) and blocks(lower)

環境省(2009)

note) upper figures : urban streets before(left) and after(right) applied small green spaces / lower figures : plan for urban blocks with small green spaces before(left) and after(right)

지구단위나 블록과 같은 도시의 미시적인 공간은 미기후의 지배를 받으며, 내부에 배치되어 있는 건물, 가로, 녹지, 도로 등은 인간의 실외 생활권이기도 하다. 광역적인 공간규모에서 고온역은 동질적인 미기후를 보이는 등온선의 영역을 가지며 미시적인 규모에서 상대적으로 고온을 나타내는 지점과 저온을 나타내는 지점들로 재분류된다. 이러한 현상들을 파악하기 위해서는 공간단위의 체계적인 설정과 다수의 측정지점 설정이 요구되고 있으나 관련 연구는 아직 미미한 실정이다.

1.2 연구의 목적

본 연구의 목적은 도시블록과 같은 미시적인 공간단위 내에 분포하고 있는 소규모 녹지가 기온저감 요소로 작용하고 있는지를 평가하고자 한다. 이를 위해 동질적인 미기상을 가진 공간단위들을 설정하고, 미시적인 공간에서의 기온데이터를 수집하여 동질적인 공간단위 간의 기온차이가 소규모 녹지에 의한 것인지 검증하고자 한다. 또한 미시적인 공간 내에서 다수의 기온측정지점을 설정하고, 데이터를 수집하여 소규모 녹지가 위치한 지점과 비녹지 지점에 대한 기온차이를 검증하고자 한다.

또한, 미시적인 공간단위인 블록에서 기온저감 효과에 영향을 주는 소규모 녹지의 배치, 유형 및 규모를 제시하고자 한다. 이를 위해 블록 내에서 다양하게 분포하는 다수의 녹지들에 대한 기온 및 메타데이터를 수집하고, 녹지유형과 규모를 분류하여 블록단위에서의 기온저감효과에 미치는 영향을 밝히고자 한다.

본 연구를 통해서 열섬저감을 위한 정책과 도시녹지계획 수립에 근거로 활용할 수 있도록 적정한 미시적 공간단위와 소규모 녹지를 활용함으로써 얻어지는 공간단위에서의 기온저감 효과의 수준, 그리고 이를 위해 고려되어야 할 소규모 녹지의 유형과 최소규모를 제시하고자 한다.

II. 연구사

2.1 도시열섬 현상과 대책에 관한 고찰

도시열섬 현상에 대한 최초의 규명이 이루어진 이후(Landsberg, 1981) 도시기온이 주변기온보다 높다는 사실을 인식하고, 왜 그러한가에 대한 원인들을 밝혀내는 연구들이 이루어져 왔다. 한국의 경우 대도시지역과 비대도시지역의 기온상승정도를 보면 대도시는 평균 0.8°C 상승하였으나 비대도시지역은 0.4°C 미만으로 상승하여(명수정, 2009)(Fig. 2-1) 지속적으로 도시개발이 이루어져 왔던 대도시지역의 열섬현상이 심화되어 왔음을 알 수 있다.

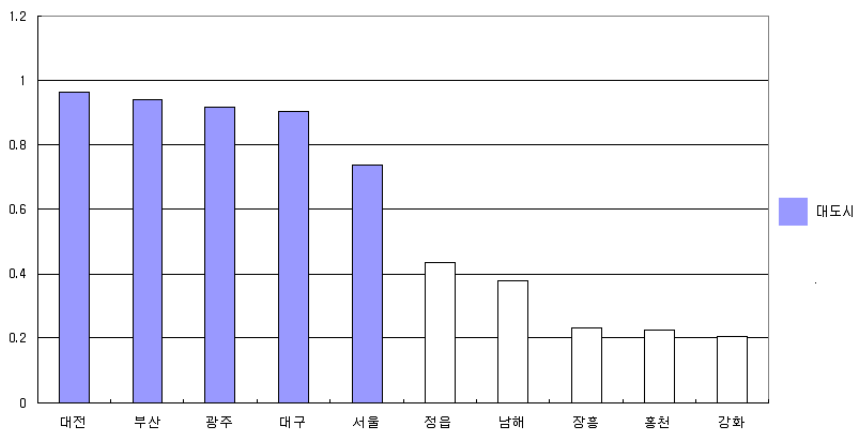


Figure 2-1. The increase of temperature for 40 years(1968~2008)

명수정, 2009, 3p

도시열섬은 하나의 현상으로 국한된 것이 아니라 이상고온으로 냉난방의 수요를 증가시키게 되어 경제적인 문제를 일으키고 있으며(Santamouris, 1990; Taha, 1997), 인명손실에도 영향을 주고 있는 것으로 보고되고 있다. 서울의 경우 1990년대로 들어서면서 30°C 이상의 기온을 보이는 빈도가 39일 정도로 나타나고 있으며,

그 중 32℃ 이상을 보이는 빈도도 2000년대에 이르러서는 20일 이상 나타나고 있어 대도시에서의 폭염사례가 점차 증가추세에 있음을 알 수 있다(Fig. 2-2). 아울러 여름철에 발생하는 폭염과 사망자 관계가 통계적으로도 유의한 것으로 나타나(Fig. 2-3) 결국 도시열섬의 심화는 인간의 건강에도 매우 심각한 영향을 주고 있는 것으로 지적되고 있어 도시열섬 대책이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

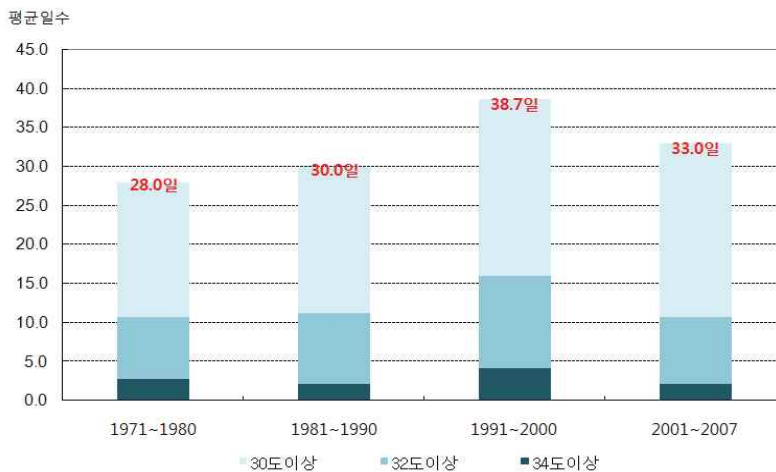


Figure 2-2. The averaged days of high temperature in Seoul
장재연 등, 2008, 204p

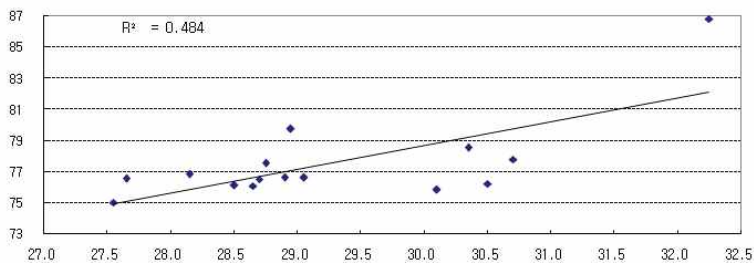


Figure 2-3. The mean daily maximum temperature with mean daily death toll in Seoul (1991~2005)
장재연 등, 2008, 205p

도시열섬 대책의 필요성이 증대됨에 따라 열섬을 발생시키는 원인을 찾고, 적합한 해결방안들이 모색되어 왔다(Bowler et al., 2010). 인공적 지표면의 증가, 냉난방 및 자동차로 인한 배열 증가 등이 열섬의 대표적인 원인들이며, 이는 다시 일사에 의한 고온의 심화와 기계설비에 의한 배열의 심화로 나누어 볼 수 있다(모리야마, 2011). 여기서 자동차, 냉난방 기기 등 기계설비에 의한 배열의 대책은 인간의 습관화된 생활행위를 장기적으로 전환시켜야 하는 반면, 일사에 의한 고온의 심화는 일사에 의한 지표면을 열을 저장시키는 형태로 바꾸어줌으로써 열섬을 개선시킬 수 있으며, 이러한 점에 착안하여 효율적인 열섬대책 요소로서 녹지와 같은 도시설계요소들의 효과에 대한 연구들이 지속적으로 축적되어 왔다.

열섬대책을 적용할 수 있는 공간의 측면으로 보았을 때, 다루게 되는 공간의 규모도 열섬연구 초기 도시전체를 대상으로 하였으나 점차 도시 내부로 축소되고 있다. 도시내부에서도 토지이용이 시가화지역인 곳이 다른 토지이용지역보다 기온이 더 높은 고온역을 띄고 있는 반면(Oke, 1987), 도시 내 녹지는 규모에 따라 차이가 있지만 주변보다 저온역 혹은 냉섬의 역할을 하고 있음이 보고되어 왔다(박인환 등, 2000; 권영아, 2002; Voogt and Oke, 2003; 권영상, 2004; 윤용한 등, 2008; 윤민호, 2009). 이는 도시전체로 보았을 때 비록 인공물로 대부분 이루어져 있고, 자연녹지가 훼손되어 왔지만 도시 속으로 공간스케일을 작게 하여 관찰하게 되면, 열섬을 가중시키는 요소를 구체적인 대책이 필요한 공간으로 인식할 수 있으며, 열섬완화요소인 녹지는 열섬대책의 구체적인 방법으로 활용될 수 있음을 제시하는 것이다.

2.2 미기후적 도시열섬 공간단위와 구성요소 고찰

2.2.1 미기후적 도시열섬 공간단위에 관한 고찰

Kim and Baik(2006)은 서울시를 공간단위로 하여 서울시 내의 고온역과 저온역의 차이를 고온역의 열섬강도로 제시하였다. 이는 고온역이 도시 내에서 다수 분포되고 있으며, 그 크기도 다양함을 알 수 있다. 고온역이 갖는 기후의 동질적인 특성이 공간의 규모와 연결된 개념이 미기후이며(Oke, 1987), 이 개념을 통해서 열섬대책을 적용하였을 때의 평가를 위해 비슷한 조건을 가지면서 대책의 적용과 미적용만을 차이로 하는 대상지를 설정할 수 있게 된다(Grimmond et al., 2010).

미기후가 동일하게 나타나는 공간규모를 일컫는 개념으로 도시경계층(UBL; Urban Boundary Layer)과 도시캐노피층(UCL; Urban Canopy Layer)이 있다. 도시경계층은 도시열섬의 관점에서 봤을 때, 고온역이 나타나는 일정한 영역의 공간으로 정의되며, 작게는 지구단위에서 크게는 도시영역까지를 포함한다(Oke, 1987). 도시경계층은 대체로 거칠기 표면 즉, 건축물 옥상의 상부부터 그 위로 나타나는 기후로 정의되며, 이 기후는 비교적 동질한 구성물들이 이루는 평균온도로 나타난다(Fig. 2-4). 도시캐노피층은 건축물 옥상과 지면 사이 및 건축물과 건축물 사이에 나타나는 기후를 의미하며, 인공피복면, 건물에 의한 그늘, 건물사이의 바람, 녹지 등 도시 구성물들이 나타내는 형태적인 조건들에 미기후가 따라 다르게 나타난다(Oke, 1987)(Fig. 2-4).

도시경계층을 도시열섬 측면에서 보면, 도시 공간규모에서 분포하고 있는 다수의 고온역 자체를 의미하게 되며, 도시캐노피층은 이러한 고온역 내부에서 상대적인 고온과 저온을 나타내는 지점들로 분류될 수 있다

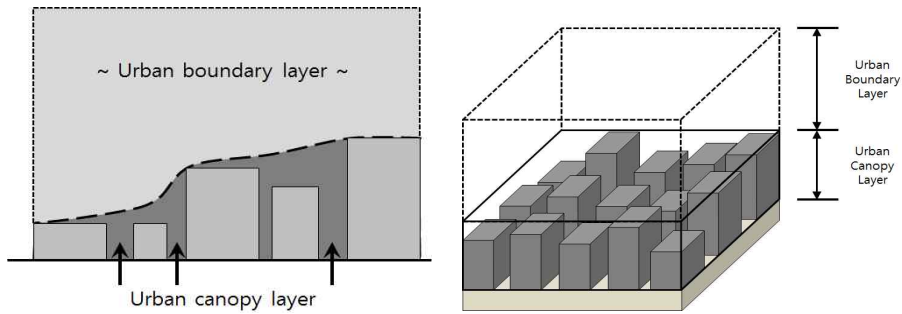


Figure 2-4. Urban boundary layer and Urban canopy layer
Oke(1987, 135-8p)(reclassified)

도시경계층과 도시캐노피층의 이론적인 바탕을 가지고, 미시적인 공간단위 구성물에 대한 연구들이 진행되어 왔다.

Grimmond et al(2010)은 도시공간구조적인 특징에 의해서 동일한 토지이용과 토지피복으로 이루어져 있는 경관들은 규모에 따라서 다른 기후를 나타낸다고 하였다.

Stewart and Oke(2009)는 동일한 규모의 바탕에서 미기후와 연관되는 도시공간의 토지이용적 형태들을 분류하였으며(Fig.2-5), 열기후지구(Thermal climate zone)와 이를 더욱 발전시킨 지역기후지구(Local climate zone)를 제시하였다. 열기후지구는 도시 내의 공간구조의 유형을 구도심과 신도심, 밀집주거와 일반주거, 산업지구 등으로 분류하고 있다. 지역기후지구의 경우에는 도시에 해당되는 유형들이 밀집형태인가 개방된 형태인가에 따라서 밀집고층지구, 밀집중층지구, 밀집저층지구, 개방고층지구, 개방중층지구, 개방저층지구, 슈퍼블록 등의 형태로 분류하고 있다. 동질적 미기후를 보이는 지역기후지구의 규모는 100~10,000m²로 다양하게 나타난다. 이는 토지이용의 물리적인 특성이 동질적인 공간의 영역이 동질적인 미기후를 보이는 공간단위임을 의미하는 것으로 판단된다. 여기서 토지이용의 물리적인 특성이 동질적이라는 의미는 동일한 면적의 동일한 토지이용을 가지면서, 건물들의 높이, 점유면적,

건물간의 간격과 같은 형태적인 특징들이 동일함을 의미한다.

미기후가 동질적으로 나타나는 공간단위의 유형은 결국 비슷한 외형적 특성을 가진 건물군이 단위공간 내 분포된 특성과 매우 연관성이 높음을 알 수 있다.

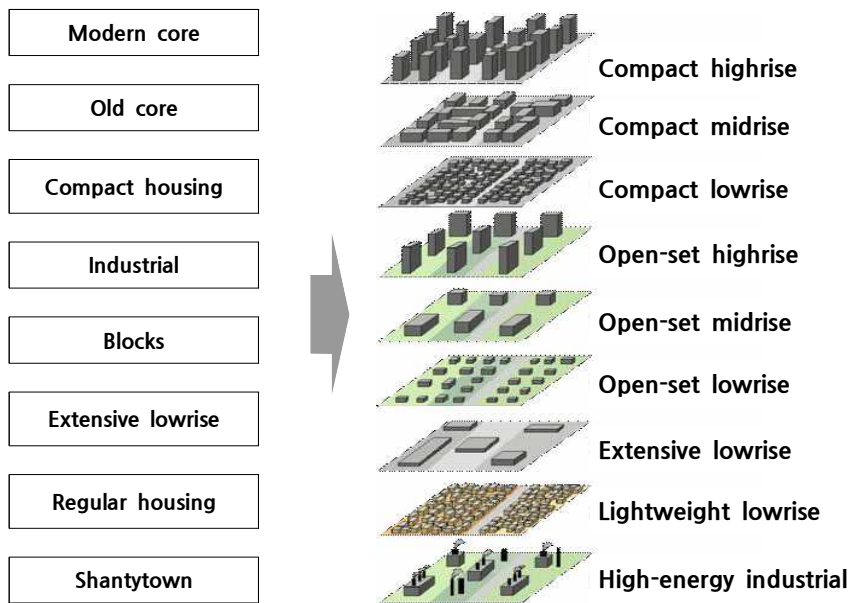


Figure 2-5. The general classification of thermal climate zones(left) and local climate zones(right) in a city

Stewart and Oke(2009)

2. 2. 2 도시캐노피층에서 미기후 영향요소 고찰

도시 미기후의 주요변수인 표면 거칠기를 좌우하는 가장 큰 요소는 건축물과 같은 인공건조물이며, 이들 각자의 형상을 나타내는 면적 및 높이와 이들이 이루고 있는 배치형태인 밀집도, 향은 미기후에 영향을 미치는 주요인자가 된다(Oke,1987). 도시캐노피층은

건축물의 높이와 건축물간의 거리로 단순화된 모식도로 표현되며, 이를 나타내는 변수는 aspect ratio 혹은 H/W ratio이다(Oke, 1987). 이 변수는 평균적인 건물의 높이를 마주하고 있는 건물의 평균거리로 나눈 값으로 표현되는데, 수치가 높을수록 건물의 높이가 증가하고, 건물간 거리는 짧아지며, 수치가 낮을수록 건물의 높이가 감소하고, 건물간 거리는 증가하는 관계를 갖는다(Memon et al., 2010). 지역기후지구의 관점으로 보게 되면, 동일한 지역기후를 보이는 지구에서 건물군은 평균높이 및 평균 이격거리가 동일하게 된다(Pont and Haupt, 2010).

도시캐노피층에서 일사에 대한 반응으로 미기후에 영향을 미치는 주원인은 인공피복면이다(Erell et al., 2011). 인공피복면의 종류로 건물외장의 콘크리트, 석재, 불투수포장된 지면 등 알베도가 높은 재료는 주간에 일사를 받게 되면 현열이 증가하게 되며(Tab. 2-1), 이는 곧 대기온도의 상승을 야기하게 된다. 도시캐노피층 내에서 건물벽면과 벽면, 그 사이의 지면에 걸쳐서 다중으로 열방사가 되면, 급격하고도 과도한 기온상승에 다다른다. 아스팔트로 포장된 도로와 같이 알베도가 낮은 인공피복면의 경우에는 주간동안 축열을 했다가 야간에 열을 방사하여 열섬을 심화시키기도 한다(Erell et al., 2011). 인공피복면으로 유입되는 일사가 차단되면 현열감소로 인하여 대기온도의 하강이 발생하며, 그 요인은 건물이나 녹지로 인한 그늘이 주를 이룬다(Taha et al., 1991; Ginoni, 1991). 도시캐노피층에서 열섬을 가중시키는 요인으로 폐열도 포함되고 있는데, 건물외부에 설치되어 외부로 열기를 발생시키는 실외기, 도로 위의 차량 등에서 배출된다(Oke, 1987)(Tab. 2-1). 이에 도시캐노피층에서 기온의 상승과 하강을 유도하는 토지이용과 관련된 변수들을 충분히 파악하고, 공간화한 상태에서 미시적인 기상 연구가 이루어져야 한다(Oke, 2004).

Table 2-1. Commonly hypothesized causes of the canopy layer UHI

Altered energy balance terms leading to positive thermal anomaly	Features of urbanization underlying energy balance changes
Increased absorption of short-wave radiation	Canyon geometry – increased surface area and multiple reflection
Increased long-wave radiation from the sky	Air pollution – greater absorption and re-emission
Decreased long-wave radiation loss	Canyon geometry – reduction of sky view factor
Anthropogenic heat source	Building and traffic heat losses
Increased sensible heat storage	Construction materials – increased thermal admittance
Decreased evapotranspiration	Construction materials – increased ‘water-proofing’
Decreased total turbulent heat transport	Canyon geometry – reduction of wind speed

Oke(1987)

풍속은 제어할 수 없는 요소로서 인식되고 있으나(Fig. 2-6)⁷⁾ 건물, 나무 등 도시구조물에 의해서 풍속은 일반적으로 감소되며, 기온에 미치는 영향이 일사에 의한 지표면 열발생이 지속적인데 비하여 바람은 일시적인 현상으로 이해된다(Oke, 1987). 풍속이 소규모 녹지 지점의 기온저감에 어떠한 영향을 주는지를 실험한 연구에서 풍속의 고저차이에 따라서 기온저감의 효과는 0.1~0.2℃로 미미하였으며, 기온은 수목에 의한 일사 차폐효과에 더 영향을 받는 것으로 나타났다(윤용한, 2001). 이에 과도한 풍속(5m/s)에 의해서 열섬현상이 사라지지 않는 한(Oke, 1987) 풍속의 정도는 기

7) Memon et al.(2008)은 도시열섬과 관련하여 인간의 개입으로 통제가 가능한 변수들과 통제불가능한 변수들에 대하여 설명하고 있는데, 미기후 요소인 풍속, 구름, 계절 등은 통제불가능한 변수로, 도시설계요소들인 녹지, 건물, 건물의 배치 등은 통제가능한 변수로 보았다.

온변화의 요소이기는 하나 지표면이 일사에 의해서 발생하는 기온 상승과 일사차폐에 의해 발생하는 기온하강보다는 그 영향도가 상당히 적으므로 국지적인 미기후 공간단위 연구에서는 대상지 기온 값을 반복측정함으로써 이를 통제하고, 극복하려는 노력들이 이어지고 있다(Stewart, 2011).

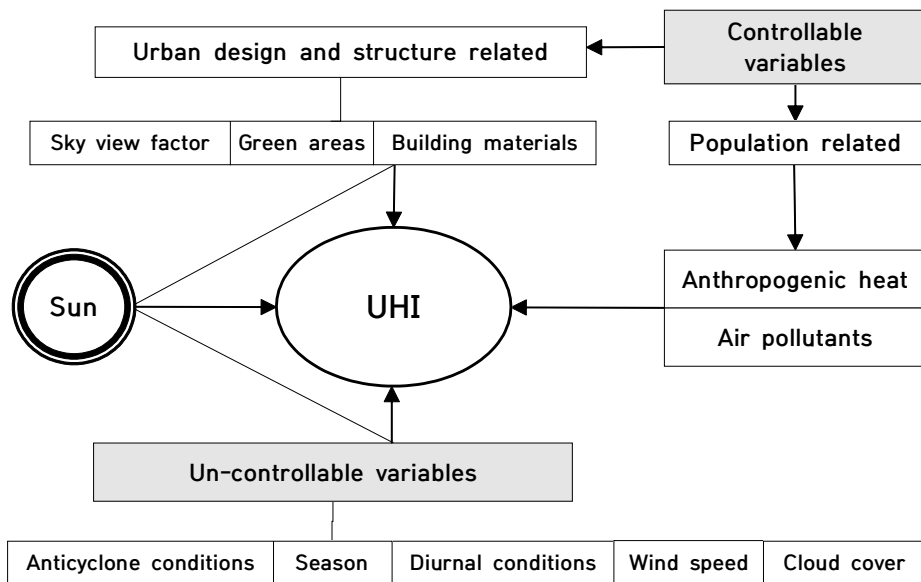


Figure 2-6. Generation of Urban Heat Island with variables

Memon et al(2008)

2.3 도시 소규모 녹지의 기온저감 효과에 관한 고찰

2.3.1 도시녹지 규모에 따른 기온저감 효과

Bowler et al(2010)은 도시녹지가 갖는 기온저감 효과에 대한 논문리뷰를 녹지와 비녹지를 대조군으로 설정한 실측연구들을 중심으로 분석하였다. 결과에 따르면, 도시녹지가 갖는 효과로서 주간에는 0.94°C , 야간에는 1.15°C 정도가 되는 것으로 분석하였으며, 도시전체의 차원에서 분석한 것은 녹지가 2.26°C 정도 낮았으나(야간), 실측의 규모를 작게 하여 녹지와 주변을 분석한 연구에서는 0.65°C 낮은 것으로 나타났다. 이를 녹지의 면적별로 분석하여 보면, 면적이 $600,000\text{m}^2$ 이상이 되는 녹지에서도 주변과의 평균기온차이가 1.5°C 로 나타나며(Ca et al., 1998), 분석대상지 중 가장 작은 면적인 $1,600\text{m}^2$ 에서도 0.6°C 의 기온저감 효과가 있는 것으로 보고하고 있다. 아울러 Bowler et al(2010)은 녹지들이 어떠한 양, 형태, 배치를 가져야 기온저감이 있는지에 대해서 기존연구에서는 주장하는 바가 미미하며, 녹지가 가지고 있는 특성들, 면적, 높이, 연수, 종 등이 기온저감과 갖는 관계를 밝힐 필요가 있음을 언급하고 있다. 또한 녹지에 의한 기온저감효과가 나타나는 녹지의 최소면적 또는 단순선형관계에 대한 결과가 제시되지 않고 있음도 지적하였다.

미시적인 공간규모에서 녹지의 기온저감 효과는 수목에 의한 그늘효과로서, 일사를 반사하거나 흡수하고, 그늘을 형성하는 것이며(Souch and Souch, 1993), 주간동안 수목의 수관아래의 기온은 수목이 없는 곳보다 $1.7\sim 3.3^{\circ}\text{C}$ 정도 낮게 나타난다는 보고도 있었다(Taha et al., 1988). 그러나 소규모로 구성되어 있는 수목은 군식의 형태로 조성되어 있다고 하더라도 대규모로 조성된 녹지가 갖는 기온저감의 공간적인 범위는 없으며, 수관경계부에서는 기온저감 효과가 거의 없는 특성이 있다(Souch and Souch, 1993).

기온저감을 나타내는 녹지의 규모로서 녹지의 면적 외에도 녹지가 갖는 부피에 대한 연구들도 있는데, 일본의 10ha 정도의 공원 3개소의 녹지체적 비율을 가지고, 기온저감 효과가 있는지에 대한 상관성을 실증적으로 분석해 본 결과 녹지체적이 증가할수록 기온이 저감되는 선형의 회귀관계를 나타냈고(윤용한, 2002), 춘천시를 대상으로 실측한 조사결과에 의하여 기온은 식생체적, 녹지면적의 증가에 따라 감소하고 있는 경향을 밝힘으로써(조현길과 안태원, 2009) 녹지체적이 갖는 기온저감 효과를 제시하고 있다. 그러나 여러 토지이용패턴이 복합된 공간단위에서 소규모 녹지의 점유율을 가지고 평가하였으므로 녹지를 추가로 확보하고자 할 때의 구체적인 규모를 제시하는 것에는 한계가 있었다.

2. 3. 2 도시녹지 기온측정방법 고찰

도시녹지가 위치하고 있는 공간은 도시캐노피이며, 그 녹지의 규모가 작을수록 기온에 영향을 미치는 지점이 협소하고, 공간단위 내에서 분산되어 배치되어 있으므로 보다 세밀한 기온측정이 요구된다(環境省, 2002). 대상지 내에서 종횡이동이나 촘촘한 측정지점 설정을 통해서 측정할 수 있는데, 이를 가능하게 하는 것이 열전대와 서미스터를 이용한 저비용의 최소화된 데이터로거이며, 다수의 측정지점을 설정하여 데이터를 수집하는 것이 가능하게 되었다(Grimmond et al., 2010).

또한 도시녹지가 갖는 여러 효과들을 분석하기 위해서는 다양한 규모와 특성을 갖는 녹지들이 있는 도시공간을 설정해야 하며, 기존의 하나 혹은 몇 개의 녹지만을 가지고 측정과 분석을 했던 방식으로는 한계가 있을 수밖에 없다(Stewart, 2011).

이에 소규모로 존재하고 있는 도시녹지의 효과를 분석하기 위해서는 비교할 대상지가 필요하게 되며 실험군과 대조군이 되는 대상

지들을 선정하는 것은 매우 중요하게 된다. 또한, 동일한 도시공간의 조건을 가진 실험군과 대조군의 기온을 비교하기 위해서는 동시에 측정을 함으로써 비교적 동일한 기후인 일사량, 풍속, 운량 등을 통제요소로 만들어야 한다(Bowler et al., 2010).

2.4 소결

동질적인 도시구성물로 이루어진 일정 공간단위는 동질적인 미기후를 나타내게 되며, 시가화된 지역일수록 고온역을 나타내고 있음은 고찰을 통해 알게 되었다. 그러나 도시캐노피층에서 볼 때, 고온역 내에는 기온을 상승시키는 요소들 뿐만 아니라, 하강시키는 요소들도 존재하고 있으며, 이러한 열섬저감 요소들이 갖는 효과들에 대해서는 일정한 공간단위에서 연구된 사례가 미미하였다.

도시 규모에서 연구된 사례를 통해서 하나의 공간단위 내에는 고온역은 물론 저온역도 존재하고 있으며, 고온역과 저온역의 차이를 열섬강도로 표현할 수 있음을 알게 되었으나 미시적인 규모에서의 관련 연구들은 미미하였다.

기존연구 고찰을 통해서 미기후에 영향을 주는 일시적인 기상적인 변수들인 풍속, 운량, 일사량 등은 반복실험을 통해서 통제할 수 있는 것으로 판단된다.

공간단위를 기준으로 하여 기온저감 효과가 있을 것으로 판단되는 소규모 녹지의 규모에 대한 기존 연구들에서는 최소면적이나 체적에 대한 제시가 미흡하였다. 그 이유는 다양한 규모의 녹지들에 대한 데이터가 동일한 계절과 시간대에 수집되지 않았기 때문이다.

이에 본 연구에서는 소규모 녹지를 미시적인 열섬저감 요소로 보고, 고온역의 공간단위에서도 기온저감을 유의하게 나타내고 있음을 밝혀 고온역을 나타내는 도시공간에서의 소규모 녹지 적용의 효과를 제시하고자 한다. 이를 위해서 미시적인 공간단위를 설정하

고, 그 내부의 여러 고온지점과 저온지점들 간의 기온차이를 제시하고자 한다.

실험대상지 선정시 열섬현상을 대표하는 지역선정이 되도록 하고, 비교적 동일한 미기후를 보이면서도 동일한 형태적 조건을 가지도록 선정조건을 작성하고자 한다. 또한 반복된 기온측정을 활용하여 결과의 신뢰성과 타당성을 높이하고자 한다.

다수이면서도 다양한 규모의 녹지들에 대한 기온데이터를 열섬을 대표하는 여름 주간시기로 하고, 메타데이터를 수집하여 기존 연구들에서 미진하였던 기온저감과 소규모 녹지들의 유형 및 규모가 갖는 관계성을 검증하고자 한다.

Ⅲ. 연구의 범위 및 방법

3.1 연구 범위

3.1.1 용어의 개념정의

(1) 대상도시 및 대상행정구

대상도시는 본 연구 목적을 위해서 선정한 도시로서 공간적 위계에서 광역적 스케일에 해당한다. 대상행정구는 지역적 스케일이면서도 행정공간의 단위로서 도시블록들을 포함한다. 대상지 선정에서 대규모 녹지 혹은 산림, 하천지역 그리고 이들 지역에서 500m 이내의 냉섬영향권(권영아, 2002)은 본 연구에서 제외한다.

(2) 도시블록 및 블록그룹

본 연구에서 도시블록은 소규모 녹지의 기온저감 효과 실측을 위한 바탕이자 미기상의 동질적 공간단위로서(Stewart and Oke, 2009), 10m 이상(왕복 4차선)의 차도로 구획되는 도시공간으로 정의한다. 블록그룹은 실험구 블록과 대조구 블록으로 구성된 그룹을 의미한다. 동일 조건은 블록면적, 건축물의 블록 내 점유면적(Pont and Haupt, 2010), 건물높이이다. 조절조건은 블록 내 녹지율로서 대조실험의 원칙상 대조구는 녹지율이 0%가 되어야 하나, 실제 도시블록에서는 존재하지 않는다(AX-Tab. 7~10). 이에 동일조건이 같은 블록 중 녹지율이 가장 높은 블록을 실험구로, 가장 낮은 블록을 대조구로 한다.

(3) 측정지점과 기온영향요소

측정지점은 이동식 기온측정에 의해 설정된 블록 내 미시적인 지점들이며, 지점별 기온은 주변 기온영향요소들로 인한 종속적 변수가 된다. 기온영향요소는 블록 내 기온상승과 하강에 직접적인 영향

을 주는 물리적 인자이다⁷⁾. 기온상승요소는 지면에서는 일사를 받는 포장면과 블록경계부의 차도 등이며, 지상에서는 건물외피, 폐열 발생 기기 등이 있다. 기온하강요소는 지면에서는 건물이나 수목 그늘영역, 수공간 등이 있으며, 지상에서는 그늘진 건물외피, 지하도, 실내 냉기류 유입 등을 포함한다(Aguilar et al., 2003 ; Oke, 2006 ; 김해동과 한상주, 2011).

(4) 소규모 녹지

본 연구에서 소규모 녹지⁸⁾는 연구 대상블록 경계부에 위치하고 있는 가로수, 건축물 주변에 위치하며, 공개공지의 성격을 띠는 자투리 녹지, 일부 소공원의 녹지를 포함하는 개념으로 정의한다.

분석에 활용된 소규모 녹지의 면적 범위는 대상지 분석에 의하여 $12.6\text{m}^2 \sim 1,962\text{m}^2$ 이며, 체적 범위는 $50\text{m}^3 \sim 12,311\text{m}^3$ 이다.

블록 내 소규모 녹지는 법률상의 명칭에 따르면⁹⁾ 블록 외연부 보도 상에는 가로수, 건축물 공개공지에 조성된 녹지로 구분된다.

녹지의 형태적 유형으로는 면형과 선형으로 구분하며, 녹지의 구조적 유형으로는 단일식재형, 혼합식재형으로 구분한다.

(5) 블록그룹에서 소규모 녹지의 기온저감 효과

대조구 블록의 평균기온(T_{Con})에서 실험구 블록의 평균기온(T_{Exp})을 차감한 수치를 의미하며, 이를 블록그룹에서 소규모 녹지의 기온저감 효과($\Delta T_{\text{Con-Exp}}$)로 정의한다. 양의 값일수록 소규모 녹지의 기온저감 효과가 있는 것으로 판정한다.

7) 기온영향요소는 공간중재도로 작성되어 측정지점 기온과의 영향관계를 분석하였다.

8) 소규모라 지칭하는 이유는 녹지의 규모가 도심 내 대규모 녹지와 비교하여 상대적으로 작고, 법적으로도 명확한 구분이 되지 않기 때문이다.

9) 공개공지 녹지들은 건축법 제42조, 43조에 근거하여, 공공가로와 만나는 필지를 녹지로 조성해왔으며, 가로수는 산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률에 의거하여 지속적으로 적용되어 왔다.

(6) 소규모 녹지의 블록기온저감 효과

블록 내 기온측정지점 중 평균적으로 가장 높은 기온값을 최고기온(T_{HP} ; the highest air temperature of point in a block)으로, 가장 낮은 기온값을 최저기온(T_{LP} ; the lowest air temperature of point in a block)으로 정의한다.

녹지와와의 거리가 '0.0m' 인 지점에서의 평균화된 기온을 녹지기온(T_{SGP} ; air temperature of small green point in a block)으로 한다. 녹지와와의 거리가 10m 이상이고, 일사에 노출되었거나 건물그늘 등 비녹지로 구성된 지점의 기온을 비녹지기온(T_{NGP} ; air temperature of non green point in a block)으로 정의한다. 여기에는 양지기온(T_{SP} ; air temperature of sunny point in a block)과 건물음지기온(T_{BSP} ; air temperature of building shade point)이 포함된다.

소규모 녹지의 블록기온저감 효과는 블록 내 비녹지기온과 녹지기온의 차이($\Delta T_{NGP-SGP}$)를 의미한다. 비녹지일수록 기온이 최고조가 되므로, 비녹지기온 중 양지기온(T_{SP})은 최고기온(T_{HP})과 동일하게 나타나기도 한다.

3.1.2 시간적 범위

도시열섬 심화로 인하여 기온이 가장 높아지는 여름철 주간, 즉 12시~18시 동안 기온을 측정하였으며, 측정기간은 2012년도 8월에서 9월까지로서 장마기간은 측정하지 않았으며, 강우가 있었던 날로부터 3일 후에 측정을 하였다. 연구결과의 신뢰성을 위해서 실험구와 대조구로 이루어진 블록그룹을 동시에 측정하되, 1일 1~2시간 동안 3회 순환반복하고, 이를 3일 동안 반복하였다(AX-Tab. 11). 대상지 현황조사는 2012년도 8과 9월, 2013년도 6월에 실시했다.

3. 1. 3 공간적 범위

도시열섬 연구가 지속적으로 이루어진 서울시를 광역적 대상지로 하여 시가화된 대표적인 중심상업지역으로서¹⁰⁾, 여름철 고온역을 발생시키는 인공피복면 비율이 높아 열섬대책이 요구되는 종로구와 중구를 지역적 대상지로 하였다(Fig. 3-1).

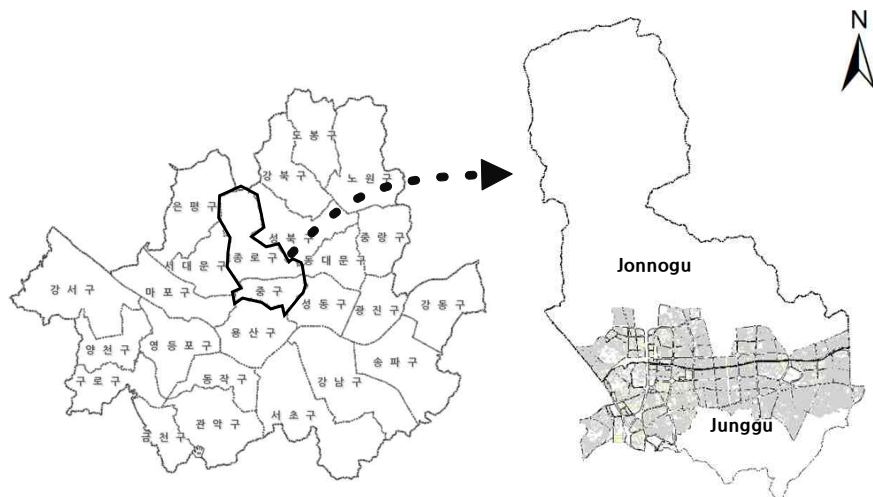


Figure 3-1. Research site of Seoul within Jongno-gu and Jung-gu

두 행정구에서 미기상에 영향을 미치는 물리적 조건으로서 블록면적, 건폐율, 평균층수가 동일하고, 녹지율의 차이가 있는 블록의 3개 그룹을 추출하여 이들을 미시적인 대상지로 한다. Stewart and Oke(2009)의 분류에 따르면 ‘old core’ 이면서, ‘compact lowrise’에 해당된다. 블록그룹은 A(AE와 AC), B(BE와 BC), C(CE와 CC) 등의 세 그룹으로 구성되며, 실험구는 AE, BE, CE, 대조구는 AC, BC, CC로 한다(Appendix 1).

10) 도심주변 저층형 주거지역도 주변 냉섬이 거의 없어 여름철 열대야 등의 문제가 심하여 본 연구 대상지로 검토하기 위하여 실태조사를 하였으나, 소규모 녹지의 개별적인 규모 및 일정공간단위 내 녹지량이 매우 작아 기온저감 효과를 규명하는데 한계가 있었다.

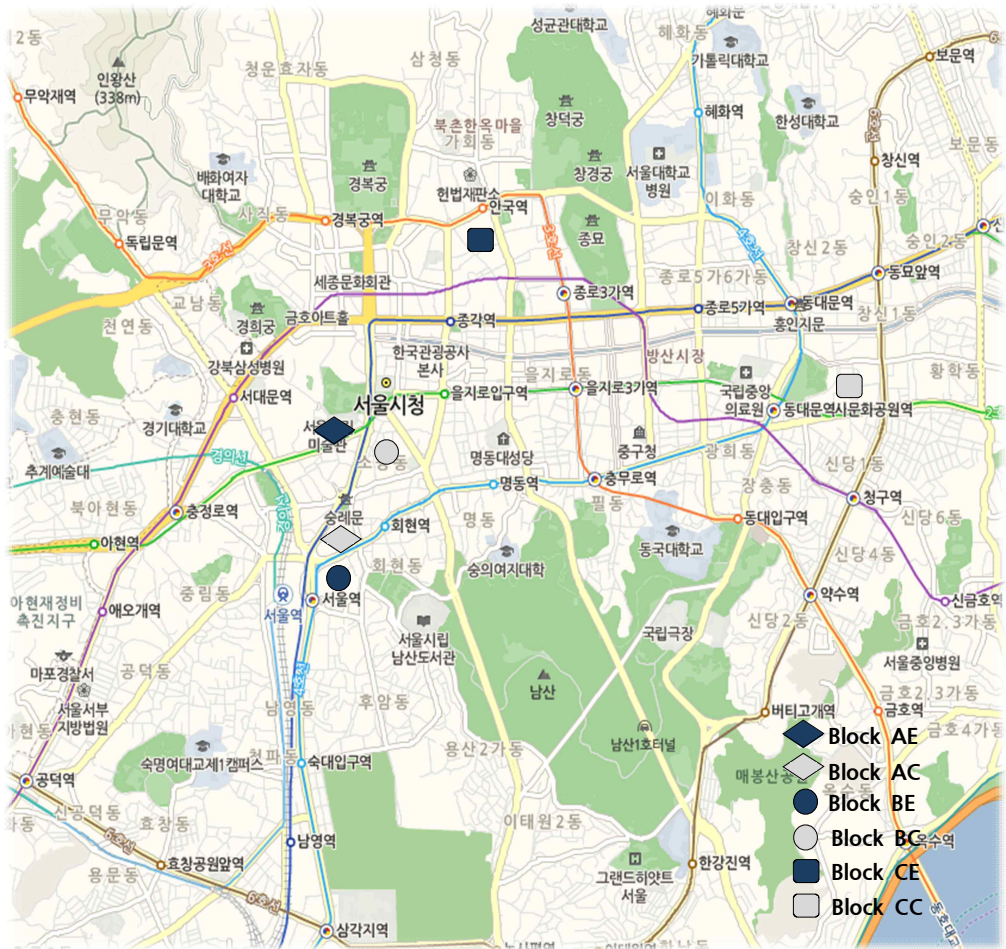


Figure 3-2. Location of six blocks

블록 AE는 서울시 중구 서소문동 서울시청 서소문별관, 서울시의 회 별관, 서울시립 미술관 등이 위치하고 있으며, 북쪽으로는 덕수 궁과 면한 도로경계부가, 남쪽으로는 서소문로와 면해 있는 블록이 다. 블록 AC는 서울시 중구 남대문로 연세재단 세브란스빌딩이 위 치하고 있으며, 동쪽에는 통일로, 북쪽은 세종대로, 서쪽은 소월로, 남쪽은 퇴계로와 면해있는 블록이다. 블록 BE는 서울시 중구 남대 문로 서울스퀘어, 남대문 경찰서, 힐튼호텔 등이 위치하고 있으며,

동쪽에 서울역사 및 남대문로, 남측면은 후암로, 서측면은 소월로2길과 면해 있는 블록이다. 블록 BC는 서울시 중구 북창동 일대와 남대문로 한국은행 본관이 위치하고 있으며, 동측면은 세종대로, 남측면은 남대문로, 서측면은 소공로, 북측면은 세종대로18길로 구획된 블록이다. 블록 CE는 서울시 종로구 수송동 소재 조계사, 일본국 대사관, 서울지방국세청, 종로구청 등이 위치해 있으며, 북측면은 을곡로, 남측면은 삼봉로, 서측면은 우정국로, 동측면은 종로5길로 구획된 블록이다. 블록 CC는 서울시 중구 홍인동 충무아트홀이 위치하고 있으며, 남측엔 퇴계로, 동측엔 을지로45길, 북측엔 마장로, 서측엔 다산로로 구획된 블록이다(Fig. 3-2, 3).

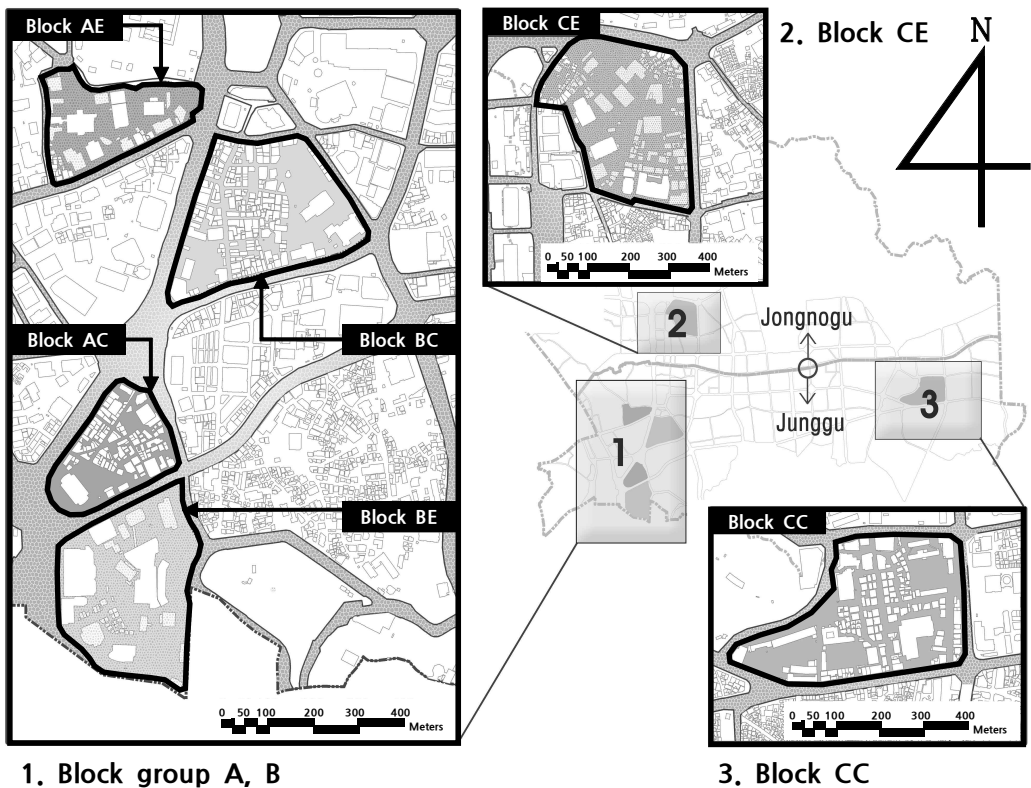


Figure 3-3. Scale and form of six blocks

3.2 연구 방법

3.2.1 공간위계분석을 통한 대상블록의 선정

대상블록 선정을 위해 대상도시를 선정하고, 대상도시에서 대상행정구를 선정하며, 대상행정구에서 대상블록을 최종적으로 선정하는 공간위계에 따른 순차적인 적지분석방식을 활용한다(Fig. 3-4).

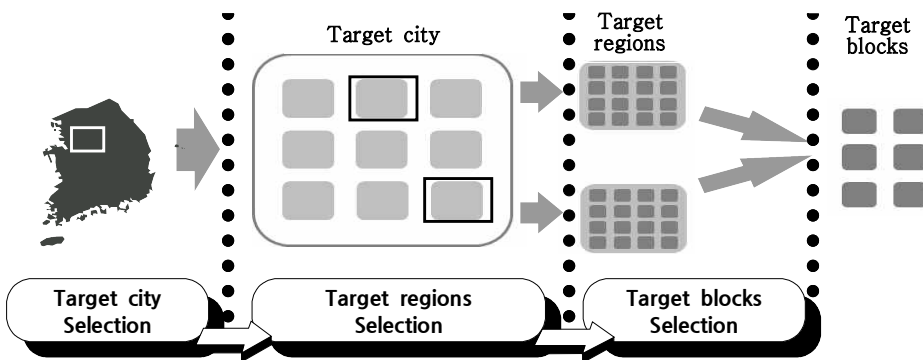


Figure 3-4. Spatial analysing process to select target blocks

(1) 대상도시 및 행정구 선정

대상도시는 대도시로서 열섬현상에 대한 연구가 지속적으로 축적되어 왔으며, 본 연구에서 요구되는 자료인 수치지도, 도시비오톱지도, 행정통계 등의 최신정보 구득이 용이하고, 소규모 녹지량이 풍부해야 한다. 이를 만족하는 도시로서 서울시를 선정하였다.

대상행정구는 고온역을 다수 포함하고 있어 지역적 열섬을 대표하는 시가화지역으로서, 용도상 건축물 피복면적 등의 인공피복률이 높은 반면 내부에 대규모 냉섬이 없으며, 지역 주변에 냉섬으로 인한 영향이 없어야 한다. 시가화지역의 고온현상은 상업 혹은 공업 토지이용일수록 잘 드러난다(Jusuf et al., 2007; Stewart and Oke, 2009; 조현길과 안태원, 2009; 윤용한 등, 2011). 또한 건축물의

밀집도가 높을수록 심해진다(Erell et al., 2011).

이에 서울시 행정구별 건축물연면적이 높은 행정구와 상업지역 및 공업지역 면적이 높은 행정구를 순위를 평가함으로써 대상행정구를 선정한다(Fig 3-5).

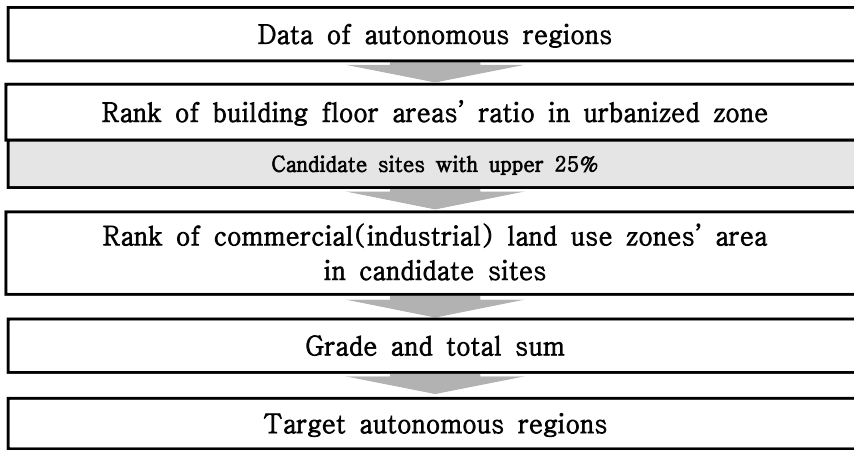


Figure 3-5. Selecting process of target autonomous regions

시가화지역에 위치하면서도 건축물연면적 비율이 높은 상위 25%는 중구, 강남구, 서초구, 종로구, 마포구, 영등포구의 순이었으며, 이들 6개 행정구를 후보군으로 설정하였다(Tab 3-1). 이 6개의 후보군에서 상업지역과 공업지역 면적별 순위를 분석한 결과(Tab. 3-2), 공업지역은 영등포구에만 있어 대표성이 결여된 것으로 파악되었으며, 상업지역은 6개 후보 전체에서 나타나며, 면적은 종로구, 중구, 영등포구, 강남구, 서초구, 마포구 순이었다.

Table 3-1. Rank of building floor areas' ratio in built-up region

Regions	Building Floor Area(m ²)	Built-Up Area(m ²)	BFA/BUA		Candidate sites
			Ratio(%)	Rank	
Jung-gu	3,748,503	9,970,000	37.6%	1	○
Gangnam-gu	5,367,528	24,340,000	22.1%	2	○
Seocho-gu	3,040,065	19,630,000	15.5%	3	○
Jongno-gu	1,951,537	12,710,000	15.4%	4	○
Mapo-gu	1,871,912	12,690,000	14.8%	5	○
Yeongdeungpo-gu	1,732,729	17,790,000	9.7%	6	○
Gwanak-gu	705,804	11,910,000	5.9%	7	
Gangdong-gu	802,589	13,740,000	5.8%	8	
Yongsan-gu	739,456	12,920,000	5.7%	9	
Songpa-gu	1,316,753	23,570,000	5.6%	10	
Gwangjin-gu	639,482	11,570,000	5.5%	11	
Dongdaemun-gu	776,244	14,100,000	5.5%	12	
Seongdong-gu	666,420	12,350,000	5.4%	13	
Yangcheon-gu	548,105	13,050,000	4.2%	14	
Jungnang-gu	437,791	10,750,000	4.1%	15	
Geumcheon-gu	409,464	10,550,000	3.9%	16	
Gangseo-gu	677,360	18,030,000	3.8%	17	
Guro-gu	479,704	14,190,000	3.4%	18	
Seodaemun-gu	521,194	15,700,000	3.3%	19	
Gangbuk-gu	302,692	9,390,000	3.2%	20	
Dongjak-gu	442,985	15,650,000	2.8%	21	
Seongbuk-gu	449,717	17,990,000	2.5%	22	
Eunpyeong-gu	361,642	15,200,000	2.4%	23	
Dobong-gu	235,795	12,210,000	1.9%	24	
Nowon-gu	252,553	13,230,000	1.9%	25	

Seoul Stats(2012)(reclassified)

Table 3-2. Area of commercial and industrial land use zones

Candidate sites	Area of each land use zone(m ²)		Rank
	Commercial	Industrial*	
Jongno-gu	3,749,385	none	1
Jung-gu	3,620,377	none	2
Yeongdeungpo-gu	2,447,696	9,099,955	3
Gangnam-gu	2,320,955	none	4
Seocho-gu	1,340,154	none	5
Mapo-gu	565,620	none	6

note) * : Industrial zone, which Yeongdeungpo-gu has only, is not a general condition for target autonomous regions.

후보군들에 평점을 부여하고 합산한 결과, 종로구와 중구를 최종적인 대상 행정구로 선정하였다(Tab. 3-3).

Table 3-3. Result of selecting research regions

Candidate sites	Grade			Total Rank	Selection
	BFA	CA	Total		
Jung-gu	6	5	11	1	○
Jongno-gu	3	6	9	2	○
Gangnam-gu	5	3	8	3	
Seocho-gu	4	2	6	3	
Yeongdeungpo-gu	1	4	5	5	
Mapo-gu	2	1	3	6	

note) BFA : building floor area, CA : commercial land use zone area

중구와 종로구는 남북을 경계로 서로 인접하고 있어 따로 떨어져 있는 행정구들보다는 미기상의 정도가 비교적 같을 것으로 여겨지며, 상업지역 면적이 매우 크고, 건축물의 연면적 비율이 매우 높아 상업용도의 건축물이 행정구 전체에 걸쳐 대다수를 차지하는 것으로 판단된다. 다만 중구는 남산과 같은 대규모 녹지를 포함하고 있으며, 종로구는 북악산과 같은 대규모 산림과 경복궁, 창덕궁 등의 보존녹지를 포함하고 있어 대상블록 선정시 이들 냉섬과의 충분한 이격을 고려한다.

(2) 대상블록 및 블록그룹 선정

1) 중구와 종로구의 블록현황도 작성

블록 현황도는 남산과 북악산 및 주요 보전녹지에서 500m 이격된(권영아, 2008) 범위를 가지고, 중구, 종로구 수치지도에 블록경계를 구획하여 작성한다¹¹⁾ (Fig. 3-6).

11) 블록 경계선 작성기준은 블록구획 차도로서 폭 10m 이상(왕복 4차선 이상)으로 하였는데, 대상블록에 속하지 않은 건물, 교목그늘과 일사면의 영향을 배제하기 위해서이다.

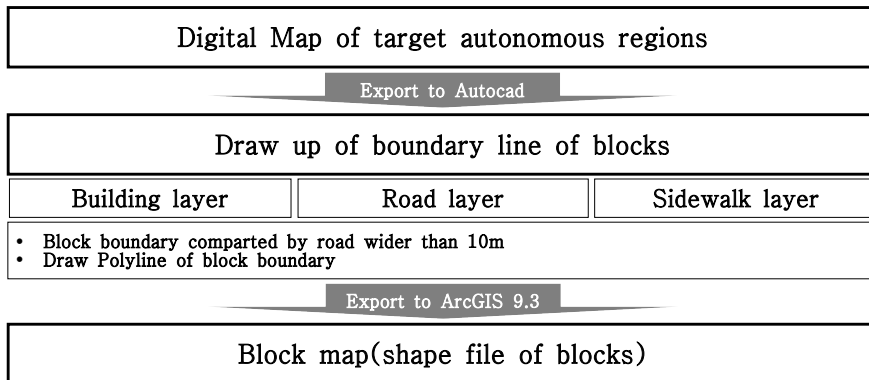


Figure 3-6. Process of drawing up block map

2) 대상블록 선정기준 및 방법

블록녹지율을 조절변수로 하여 녹지율이 높은 실험구와 낮은 대조구를 설정한다. 고정변수는 블록단위에서 기온에 영향을 주는 물리적인 인자들로서 블록현황도와 서울도시비오톱지도(서울시, 2010)를 활용하여 산출된 블록면적, 블록 건폐율(Fig. 3-7)과 블록 건물평균층수로 한다(Tab. 3-4).

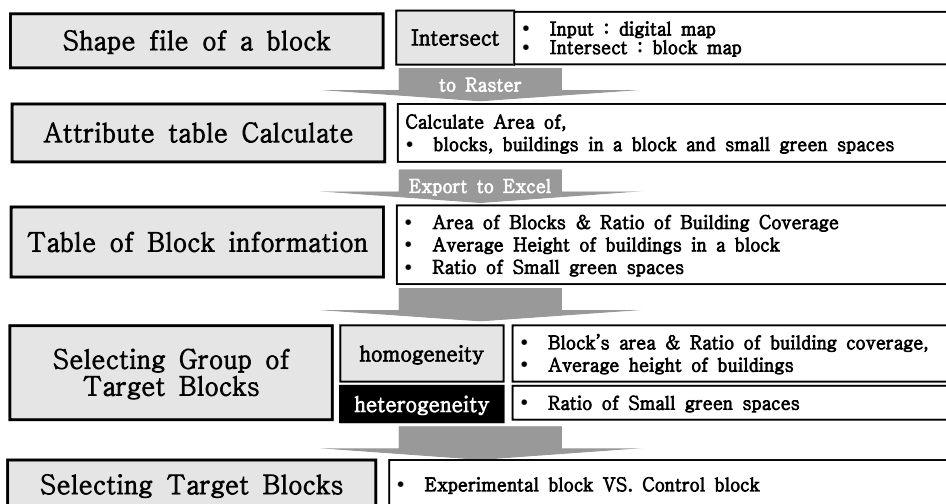


Figure 3-7. Process of ratio of building coverage in a block

Table 3-4. Selecting indicators of target blocks

Selecting index	Selecting indicators	Using data
Area of Block	Area of Block(m ²)	digital map land use map biotope map
Area of Building Coverage	Ratio of Building Coverage(%)	
Building Height	Average of Buildings' Height(m)	
Quantity of Small green spaces	Ratio of Small green space to a Block area(%)	

3) 대상블록 및 블록그룹 선정결과

산출된 블록 내 변수들을 블록면적의 순서대로 정리하여 블록면적이 같은 그룹을 설정하고(Appendix 2), 해당 조건에서 건물점유면적비가 같고, 평균층수가 같으며¹²⁾, 녹지면적률이 가장 높은 블록과 가장 낮은 블록을 선정한다(Tab. 3-5).

Table 3-5. Identical range of indicators in selecting target blocks

Indicators	Identical range
Block area(m ²)	<ul style="list-style-type: none"> • under 100,000m² : ±1,000m² • upper 100,000m² : ±10,000m²
Ratio of Building Coverage(%)	<ul style="list-style-type: none"> • to all : ±5%(average is 40%)
Ratio of small green space(%)	<ul style="list-style-type: none"> • Higher : upper 15% • Lower : under 5%
Average Stories(m)	<ul style="list-style-type: none"> • upper 5 stories(15m)

대상블록은 총 6개, 블록그룹은 3개로 구성되었다(Tab. 3-6). 블록그룹 A는 약 50,000m²의 블록면적에 건폐율은 40%정도이고, 평균층수는 10층에 녹지율은 실험군인 AE가 14.5%, 대조군인 AC가 2.4%이다. 블록그룹 B는 약 100,000m²의 블록면적에 건폐율은 약 40%정도이고, 평균층수 12층에 녹지율은 실험군인 BE가 38%¹³⁾,

12) 평균층수는 중구와 종로구 전체 평균인 5층을 가정하여 대상블록 선정을 수행하였으며, 최종 대상블록 선정시 평균층수에 대한 정보를 수록하였다

BC가 6.4%이다. 블록그룹 C는 약 110,000m²의 블록면적에, 건폐율은 35%정도이고, 평균층수는 12층 정도에 녹지율은 실험군인 CE가 19.5%, CC가 9%를 차지하고 있다. (Tab. 3-6).

Table 3-6. Target blocks within block groups

Classification Indicators	Block group A		Block group B		Block group C	
	AE	AC	BE	BC	CE	CC
Block area(m')	48,989	49,103	98,375	98,102	112,874	108,151
Building Coverage(m')	18,271	20,463	34,480	43,777	41,507	38,457
Building Coverage ratio(%)	37.3	41.7	35.1	44.6	36.8	35.6
Small green area(m')	7,118	1,171	28,120*	6,302	21,989	9,707
small green ratio(%)	14.5	2.4	38	6.4	19.5	9
Average Stories(m)	10(30m)	10(30m)	15(45m)	10(30m)	15(45m)	10(30m)
Region	Jung-gu	Jung-gu	Jung-gu	Jung-gu	Jongno-gu	Jung-gu

note) Experimental block : AE, BE, CE , Control block : AC, BC, CC

* Small green area of BE is excluding 9,219m²(big green) in the middle of BE.

4) 대상블록 메타데이터 구축

블록현황도의 건물, 포장 등의 속성정보들을 바탕으로 하여 선정된 블록별 현황조사를 실시한다(Tab. 3-7).

블록현황도에서 누락된 신축건물, 소규모녹지의 정확한 위치를 구현하기 위하여 레이저 거리측정기¹⁴⁾, 대상블록현황도를 작성한다(Fig. 3-8).

13) BE 중앙부에 있는 녹지대는 약 9,219m² 정도의 규모로서 소규모 녹지로 볼 수 없어 차후 측정에서 제외하였다.

14) GPS로 지점들을 조사한 결과, 해당지점과 지도화된 지점의 편차가 50~100m 이상 차이가 났으므로 레이저 거리측정기(Leica DISTO D2)를 활용하여 현황도를 작성하였다. 건물의 높이, 교목의 높이를 측정하기 위하여 측정기 내부의 삼각측량법을 사용하고, 수관 폭의 경우 수관이 원형임을 전제로 하여 주지를 기준으로 하여 가장 반지름이 큰 수관의 끝부분에서 주지에 평행한 거리를 측정하여 두 배를 하여 구하였다.

Table 3–7. Field checking items of target blocks' present condition

Classification	Checking item	Measure
Buildings	<ul style="list-style-type: none"> • eliminated • newly constructed • building height 	<ul style="list-style-type: none"> • location : Digital map and laser distance meter (Leica DISTO D2) • area or scale of objects : laser distance meter
Sidewalk & pathway	<ul style="list-style-type: none"> • pattern of pavement • width and size 	
Small green spaces	<ul style="list-style-type: none"> • eliminated or omitted • species & height of tree • width of crown 	
others	<ul style="list-style-type: none"> • water body • facilities 	

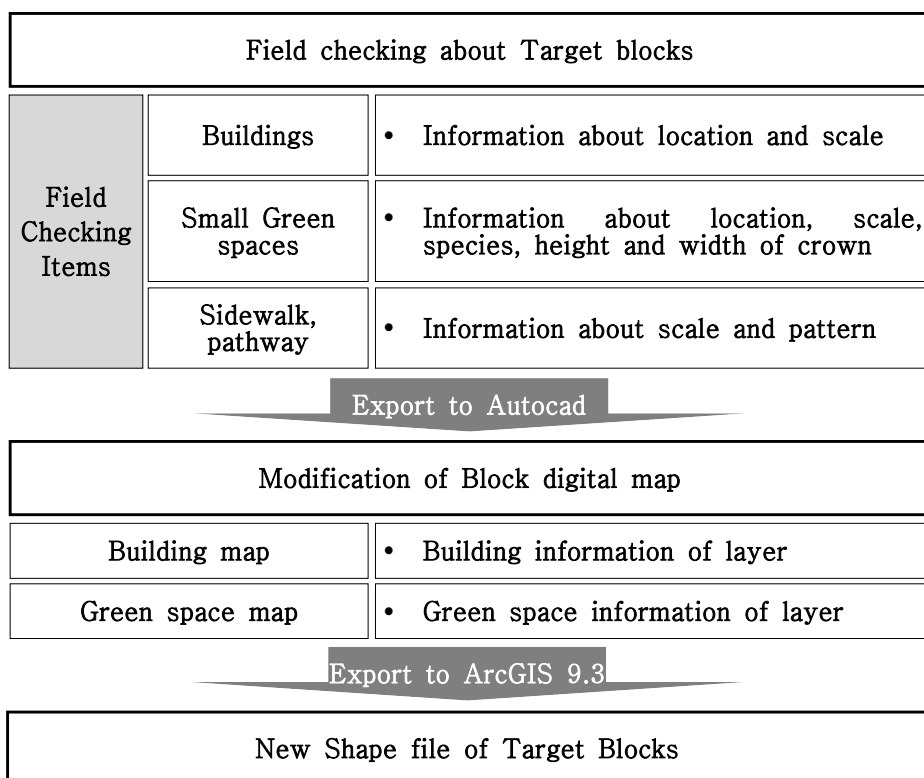


Figure 3–8. Process of drawing up of target blocks' map

3. 2. 2 도보이동을 통한 기온의 반복측정

(1) 기존방식 비교를 통해 도보이동측정방식으로 결정

소규모 녹지가 도시의 미시적인 공간에 분포하고 있고, 차도가 아닌 보행로나 소로에 위치하고 있으므로 이러한 공간 영역의 기온을 측정함에 있어서 측정방법의 타당성이 요구된다.

고정식은 도심 내 지점에 설치하고, 장기적으로 특정지점에서의 시계열적인 변화를 기록하게 되어 그 지점에 대한 기온데이터의 충분하고도 정확한 데이터를 확보할 수 있으며, 동시에 발생하는 기온변화를 수집할 수 있다는 점에서는 장점이 되지만(Oke, 2004; Oke, 2006; Stewart, 2011), 블록단위에서 미시적인 공간인 보행로와 소로에 다수 설치하였을 때, 비용¹⁵⁾과 관리문제¹⁶⁾라는 한계가 있다.

이동식 기온측정방식은 도시 내 작은 스케일을 대상으로 할 때 활용되며(Oke, 2006; Grimmond et al., 2010; Stewart, 2011), 다수의 측정지점을 설정할 수 있고, 데이터 관리에 용이하다(Aguilar et al., 2003; Oke, 2006). 이동측정방식에는 차량¹⁷⁾, 자전거¹⁸⁾, 도보 등이 있으며, 이들 중 안전사고, 차량통행 문제를 고려해 볼 때, 도보가 용이하다. 또한, 1~1.5시간을 동일시간으로 본다면¹⁹⁾, 세세한

15) 대상블록의 규모(50,000~110,000m²)는 측정지점의 개소수와 연관된다. 가로세로 최소 10m 격자로 나누어도 소규모 녹지의 효과를 검증하기 위해서 필요한 고정식 측정지점은 하나의 블록단위로 볼 때 50~100개가 소요되며, 블록그룹 동시측정을 위해서는 그 두 배가 필요하여 최대 200개의 측정기기와 설치비용, 관리인력 비용 등이 소요된다. 대략적인 소요금액은 최소 5,000만원으로 집계되었다.

16) 가로 및 소로에서 예비조사를 해 본 바, 보행 혹은 운반 장비의 흐름에 방해가 주게 되었으며, 안전사고로 이어져 데이터 손실을 초래하기도 하였다.

17) 차량을 이용한 이동식 측정의 경우 블록 내 소로의 경우는 진입자체가 어려운 점이 있으며, 차량이동에 의해서 발생하는 자체열과 바람에 의한 기온변화가 미세하게 바뀌는 외부 기온을 명확하게 나타낸다고 할 수 없다.

18) 자전거의 경우 차량이동보다는 소로로의 진입과 자체발생되는 기온변화의 우려는 적은 반면, 이동측정을 하는 장소에 사람이 몰려 통과가 어려운 경우, 자전거가 다니기에 불편한 포장이 된 경우, 내리막길 혹은 오르막길이 생기는 경우 등 일정한 시간간격으로 지점들을 찍기에는 한계가 있다(Tab. 3-15).


19) 동일시간대에 설정에 대해서 기존연구(Oke, 1997; 권영아, 2002; 문수영, 2011)에서는 1시간~2시간 혹은 주간 등으로 다양하였으므로 최소 1시간 이내에 블록측정을 완료하게

기온영향요소들의 기온을 측정할 수 있고, 이동속도가 낮아 보정의 필요가 없는 등의 장점(Aguilar et al., 2003; Oke, 2006)들이 있으므로 도보이동측정 방식이 타당하다.

(2) 기온측정기기 및 측정인력의 설정

기온측정기기는 이동식 측정에 적합하도록 휴대가 간편해야 하며, 온도의 오차범위가 작으며, 온도변화에도 민감하게 반응하고, 정확한 데이터 기록과 보존이 요구된다. 또한 측정방식에서 온도감응 시간이 1초 미만이고, NTC센서²⁰⁾를 장착하여 실외기온측정에 광범위하게 사용되는 모델을 고려하였다(Grimmond et al., 2010; Bowler et al., 2010). 이에 예비로 여러 모델을 선정하여 테스트²¹⁾를 수행한 후 선정한다(Tab. 3-8).

Table 3-8. Air temperature measurement device for the research

Model	Variable	Coverage	Resolution	Interval	
Testo 174H	T(℃)	-20~70	0.1	1min.	
	RH(%)	0~100	0.1	1min.	

note) T : air temperature, RH : relative humidity

측정인력은 실험군과 대조군을 동시에 이동하면서 측정을 해야하므로 최소 2명 이상 필요하다. 또한 연구 전반 및 측정방법에 대한 이해도가 높고, 연구자와 함께 예비조사²²⁾를 수행한 조사원 들 중

되면, 문제가 없을 것으로 판단하였다.

20) NTC 서미스터로 일반적으로 불림. 서미스터는 “열에 민감한 저항체(Thermal Sensitive Resistor)”를 의미하는 영어의 약자로, 온도상승이 되면 저항이 감소하는 성질 (NTC : Negative Temperature Coefficient :온도상승시 저항값 감소)을 가진 반도체 세라믹 재료를 이용한 온도센서이다(<http://www.testo.kr/online/>).

21) 측정기기 선정을 위한 테스트 모델들 중 Testo 410-2는 자동기록 불능, Kestrel 4500은 데이터 손실과 조작의 어려움 등이 있다.

측정인력을 선정하고, 본 조사 이전에 수차례 현장답사를 수행하면서 기온측정방법 및 현황조사방법을 숙지한다. 대상블록별로 본 조사에 앞서 도보이동루트를 설정하고, 소요시간을 산출한 후 블록 대조군간 비슷한 이동루트 거리와 소요시간을 동일화한다(Tab. 3-9).

Table 3-9. Set of measurement conditions by block

Block	Distance of route(m)	Run-time(min)
AE	1,431.65	18-22
AC	1,328.38	16-20
BE	2,459.44	30-35
BC	2,328.07	30-35
CE	2,723.60	45-50
CC	2,909.50	45-50

(3) 블록그룹별 기온의 반복측정

반복측정은 여름철 3일 동안 실험구 대조구에 대하여 동시에 시행한다. 또한, 측정당일 블록 내 지점기온값을 3회 이상 수집하도록 순환반복하되, 1인 1측정기일 때는 3회 순환하며, 1인 2측정기일 때는 2회 순환한다.(Tab. 3-10). 결과를 정리하여 공간화한다(Appendix 3, AX-Tab. 11).

Table 3-10. Blocks' air temperature measurement repeat count

Measuring conditions	Repeat count	
Number of Device	1	2
Number of Variable in a Device	1	1
Number of Cycle(moving route)	3	2
Number of Days	3	3
Total repeat count	9	12

22) 예비조사의 점검항목으로는, 선정된 측정방식을 적용하였을 때 소규모녹지의 효과를 규명할 수 있는 수준의 기온값을 수집할 수 있는지, 측정지점별로 기온영향요소의 변화에 따라 차이가 나타나는지, 측정기기의 활용과 분석에 문제가 없는지, 측정된 데이터가 누락되거나 오류의 문제는 없는지 등이다.

(4) 측정지점별 기온값의 생성

블록별 측정지점은 블록현황도에 측정시간동안 이동한 루트를 AutoCad 2010을 활용하여 작성하고, ArcGIS 9.3로 불러들여 point data를 생성하며, 측정된 일별, 이동루트에 의한 포인트 지점별 기온값을 직접 입력하는 등의 과정을 통하여(Fig. 3-9) 블록별 지점 기온주제도를 작성한다(AX-Fig. 20-23).

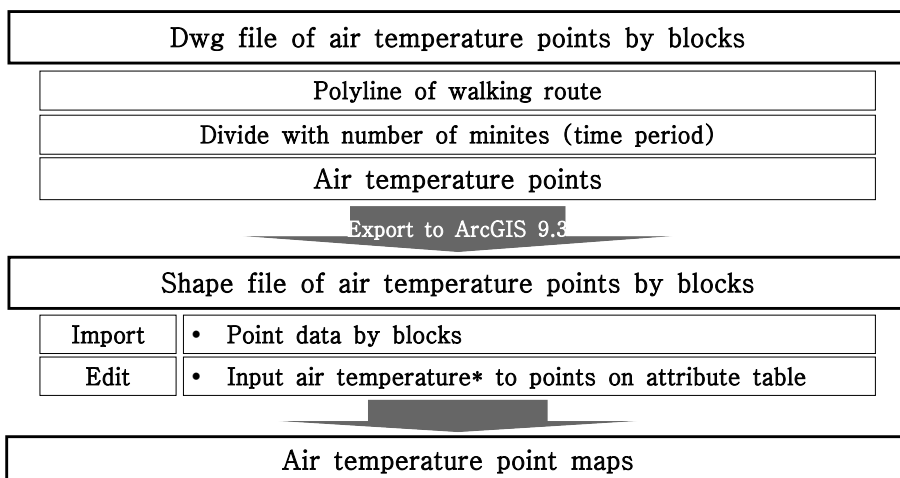


Figure 3-9. Process of air temperature point map

note) *: averaged air temperatures by repeated measurement in a day

3. 2. 3 블록단위에서 소규모 녹지의 기온저감 효과분석

(1) 블록그룹별 소규모 녹지에 의한 기온저감 효과분석

블록그룹 내 실험구, 대조구에 대한 대응표본 T검정을 반복별로, 전체 반복에 대하여 실시하여 두 비교군의 기온차이 정도를 비교한다. 일조분석 결과를 바탕으로 건물그늘 효과와 소규모 녹지의 효과를 분리하여 기온저감에 소규모 녹지가 미치는 영향을 알아보기 위하여 Kruskal-Wallis 검정을 실시한다.

(2) 블록 내 일사 및 건물그늘영역 분석

블록현황도를 기반으로 ArcGIS 9.3 Solar Radiation(Area)을 이용하여 블록별 측정일과 시간대에 따른 일조분석(오규식과 정승현, 2011)을 시행한다²³⁾(Fig. 3-10).

일조분석 결과(AX-Tab. 12~15)가 실제 대상지 현황과 일치하는 지를 그늘 형성각도와 길이 비교로 확인한다²⁴⁾.

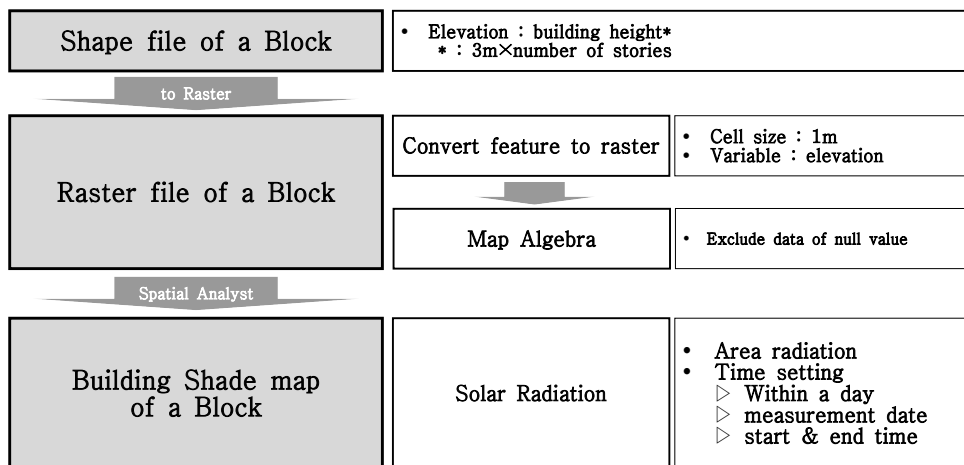


Figure 3-10. Analysis of building shade on a target block

(3) 블록 내 지점별 기온비교를 통한 소규모 녹지의 효과분석

측정된 기온값을 블록별 측정지점으로 공간화한 결과와 일조분석 결과를 바탕으로 블록 내 각 회차별 평균된 지점별 기온값들의 변화를 설명한다.

23) 건물그늘 구간의 기온저감 분석을 위해서는 우선 건물그늘이 어떻게 형성되는지에 대한 공간적인 정보가 필요하다. 측정당일의 현장조사를 통해서 그늘이 이루어지고 있는 현황을 확인할 수 있으나 조사인원과 실제의 그늘이 드리우는 형태를 파악하는 것에는 한계가 있다.

24) 건물그늘현황을 보면 건물그늘이 형성되는 각도는 정북을 0°로 하였을 때 30°~90°(북동쪽) 사이에 위치하고 있었으며, 건물 그림자의 길이는 건물의 높이가 길수록, 설정된 시간대가 18시에 가까울수록, 그리고 9월로 갈수록 길어지는 경향을 보였다. 이러한 결과를 블록 CC 측정당시의 사진과 비교하였을 때 대체로 일치하였다.

블록 내 최고기온과 최저기온을 나타내는 지점들이 갖는 기온영향 요소간 비교를 통해서 기온상승 및 하강에 승수효과를 일으키게 되는 요소들을 분석한다. 결과를 통해서 블록 내 비녹지 기온과 녹지 기온이 최고기온 혹은 최저기온에 속하는지 평가한다. 비녹지 기온의 경우 양지기온과 건물음지기온으로 분류하여 비모수 독립 k표본 검정에 활용한다.

3.2.4 소규모 녹지 유형 및 규모에 따른 기온저감 분석


(1) 블록 내 소규모 녹지의 유형분류 및 규모의 산출

녹지면적의 산출은 수관폭의 반경을 기준으로 그 면적을 계산하되 조사된 해당 녹지의 수관밀도를 곱한다(油井正昭, 1968). 녹지체적 산출에 필요한 녹지정보인 수관형태, 수관폭, 수고, 수관높이 등을 현황조사를 통해 자료를 구축하고, 油井正昭(1968)이 제시한 외견상의 수목체적 구하는 산출방식²⁵⁾을 적용하여 각 녹지별로 구한다. 단일수종으로 이루어진 경우 교목, 아교목, 관목의 녹지체적을, 혼합수종으로 이루어진 경우 녹지를 이루고 있는 교목의 녹지체적, 아교목의 녹지체적, 관목의 녹지체적을 합하여 산출한다. 녹지체적의 H는 수관의 높이로서, 교목에 해당하고, 산출방식은 단일식재형에서 각 수목의 평균적인 수고에 평균적인 지하고를 차감함으로써 작성한다.

25) 녹지체적 산출방식(油井正昭, 1968)

; V : 체적, r : 수관폭(반경), H : 수관높이, a : 폭, D : 거리

1. 교목의 수관형태에 따른 체적


원추형(圓錐形, ) : $V = \frac{1}{3} \pi^2 H$

종란형(縱卵形, ) : $V = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{H}{2} \right)^2 r$

횡란형(橫卵形, ) : $V = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{H}{2} \right) r^2$

원통형(圓筒形, ) : $V = \pi r^2 H$

2. 관목의 수관형태에 따른 체적

선형(扇形, ) : $V = \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi r^3$

군식 및 산울타리 : $V = a \cdot D \cdot H$

(2) 소규모 녹지의 규모에 따른 기온저감 분석방법

1) 소규모 녹지의 면적과 기온저감 효과의 관계분석

소규모 녹지면적을 독립변수로 하고 이에 대응하는 블록단위 최고 기온과 소규모녹지 기온의 편차값을 종속변수로 하는 자료를 작성한 후 이들이 갖는 통계적인 관계를 SPSS 12.0으로 분석하되 산포도를 작성하고, 경향을 나타내는 회귀식을 도출한다.

2) 소규모 녹지의 체적과 기온저감 효과의 관계분석

소규모 녹지체적을 독립변수로 하고 이에 대응하는 블록단위 최고 기온과 소규모녹지 기온의 편차값을 종속변수로 하는 자료를 작성한 후 이들이 갖는 통계적인 관계를 SPSS 12.0으로 분석하되 산포도를 작성하고, 경향을 나타내는 회귀식을 도출한다.

본 연구대상지의 선정은 열섬을 대표하는 도시공간추출을 위해서 토지이용패턴에 근간한 대상행정구를 선정하고, 미기후의 동질적인 조건을 가지면서도 녹지율에 따라 이질적 조건을 가진 실험구와 대조구를 추출하는 것으로 이루어졌으며 총 6개의 블록이 선정되었다(Fig. 3-11).

본 연구의 방법은 아래와 같이 요약된다.

선정된 대상블록에서 다중지점에 대한 기온데이터를 3일 동안 3회 이상 도보순회하여 수집하고, 이를 현황조사 결과와 함께 공간화한다. 소규모 녹지의 기온저감 효과분석은 블록그룹단위에서는 실험구가 녹지율이 높은 블록, 대조구가 녹지율이 낮은 블록에 대한 통계분석, 블록단위에서는 실험구가 소규모 녹지지점들, 대조구가 소규모 녹지가 없는 지점들로서 비교군간 통계분석을 실시한다. 소규모 녹지의 유형과 규모의 변화가 기온저감에 어떠한 상관성을 갖는지에 대한 통계적인 분석을 실시한다(Fig. 3-11).

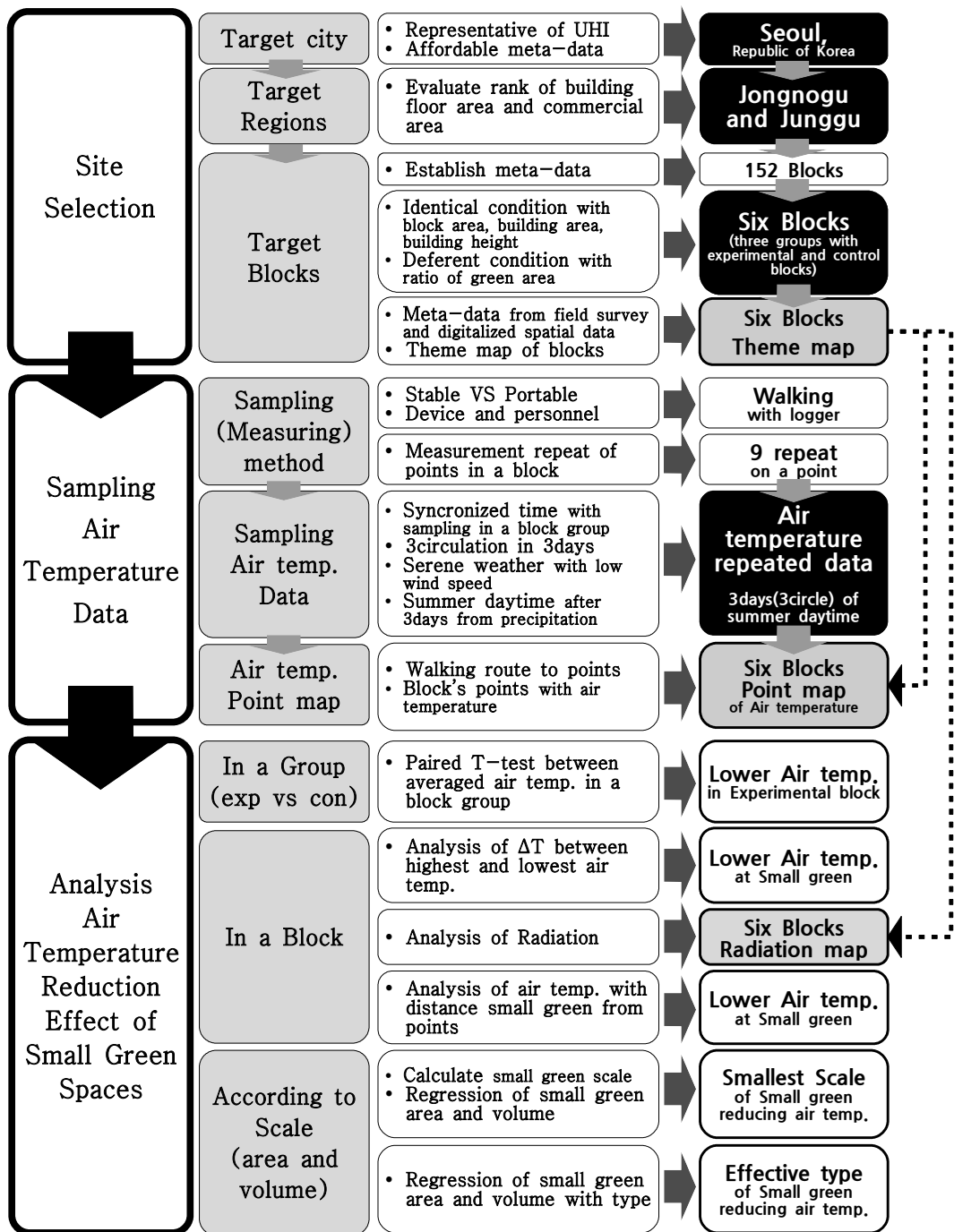


Figure 3-11. Research flowchart

IV. 결과 및 고찰

4.1 블록그룹별 기온 반복측정 결과

블록그룹별로 반복측정된 기온값들을 각 회차별로 평균하여 블록 평균기온으로 하고, 이를 비교하였다.

블록그룹 A의 1차 측정에서는 14시 이후 기온이 점차 상승하는 경향을 보이며, 2차는 17시 이후 기온이 하강했던 반면, 3차에서는 시간경과에 따른 기온의 차이가 거의 없었다(Tab. 4-1). 실험구와 대조구의 기온변화를 보면, 1차 측정에서 AE의 경우 평균기온은 35.6℃이었으며, AC는 평균기온이 34.9℃를 나타내어 AE가 0.7℃ 정도 평균기온이 높았다. 그러나 2차 측정에서 AE의 경우 최저는 29.2℃, 최고는 29.8℃를 나타내어 평균기온은 29.5℃이었으며, AC의 경우 최저는 29.9℃, 최고는 30.5℃를 나타내어 평균기온은 30.2℃로서 AE가 0.7℃ 낮았다. 3차 측정에서 AE는 최저 33.1℃, 최고 33.2℃, 평균 33.1℃을 보였으며, AC는 최저 33.8℃, 최고 33.9℃, 평균 33.9℃로서 AE가 0.8℃ 낮았다(Tab. 4-1).

Table 4-1. Result of air temperature in group A

Repeat	Block	Air temperature(℃) at a time			Averaged air temperature(℃) by repeat
		1st	2nd	3rd	
I	AE	35.2	35.5	36.3	35.6
	AC	34.7	34.9	35.1	34.9
II	AE	29.8	29.5	29.2	29.5
	AC	30.5	30.1	29.9	30.2
III	AE	33.1	33.1	33.2	33.1
	AC	33.9	33.8	33.9	33.9

블록그룹 B의 1차 측정에서는 블록 평균기온이 12시 이후 점차 상승하였고, 2차에서는 16시 이후 평균기온이 하강한 반면, 3차의 경우 13시 이후 평균기온이 상승하였다(Tab. 4-2). 1차 측정에서 BE의 최저기온은 33.8℃, 최고는 34.2℃, 평균 34.0℃를 나타냈으며, BC에서는 최저 34.3℃, 최고 36.2℃, 평균 35.3℃를 나타내어 BE가 평균 2.2℃ 낮았다. 2차에서 BE의 최저는 30.7℃, 최고는 31.4℃, 평균은 31.1℃였으며, BC의 최저는 30.2℃, 최고는 31.1℃, 평균은 30.6℃로서 BE가 평균 0.5℃ 높았다. 3차 측정에서 BE는 최저 32.4℃, 최고 33.1℃, 평균 32.8℃를 보였으며, BC는 최저 33.5℃, 최고 34.3℃, 평균 33.9℃를 보여 BE가 평균 1.1℃ 정도 낮았다(Tab. 4-2).

Table 4-2. Result of air temperature in group B

Repeat	Block	Air temperature(℃) at a time			Averaged air temperature(℃) by repeat
		1st	2nd	3rd	
I	BE	33.8	33.9	34.2	34
	BC	34.3	35.5	36.2	35.3
II	BE	31.4	31.1	30.7	31.1
	BC	31.1	30.5	30.2	30.6
III	BE	32.4	32.9	33.1	32.8
	BC	33.5	33.9	34.3	33.9

블록그룹 C는 1차 측정에서 15시 이후 기온이 하강하며, 2차 3차의 경우 13시 이후 기온이 상승하였다(Tab. 4-3). 1차 측정에서 CE는 평균 27.7℃, CC는 평균 29.6℃로서 CE가 평균 1.9℃ 낮았다. 2차 측정에서 CE의 평균은 30.2℃, CC는 평균 31.9℃로 평균 1.7℃ CE가 낮았다. 3차에서 CE는 평균 29.9℃, CC는 평균 32.1℃로 나타나 CE가 평균 2.2℃ 정도 낮았다(Tab. 4-3).

Table 4-3. Result of air temperature in group C

Repeat	Block	Air temperature(℃) at a time				Averaged air temperature(℃) by repeat
		1st	2nd	3rd	4th	
I	CE	28.1	27.8	27.3	-	27.7
	CC	29.8	29.8	29.3	-	29.6
II	CE	29.7	30.1	30.3	30.7	30.2
	CC	31.2	31.6	32.1	32.5	31.9
III	CE	29.6	29.7	30.1	30.2	29.9
	CC	31.7	31.9	32.4	32.4	32.1

전체 블록그룹에서 기온변화와 시간대의 관계를 보면, 태양의 고도가 정점에 이르러 일사량이 최고조에 이르렀던 주간 12시 ~ 16시까지는 블록평균의 기온이 상승하였으며, 고도가 점차 약해지면서 일사량이 줄어들었던 16시 ~ 17시에는 기온의 하강을 나타냈다.

태양의 고도와 일사량이 가장 많아 기온이 가장 높을 것으로 예상될 수 있는 정오보다 14시 ~ 15시의 기온이 가장 높게 나타났는데, 이는 지면을 구성하고 있는 인공피복이 아침부터 지속적으로 일사를 흡수하면서 이를 다시 방사하게 되는데 시간이 소요되기 때문인 것으로 판단된다.

블록그룹 A와 B의 전체 반복측정과 블록그룹 C의 반복 1은 1인 1측정기를 가지고 진행되었으나, 블록그룹 C의 반복 2, 3은 1인 2측정기를 가지고 진행하였으므로 반복 4까지 기온데이터를 수집하게 되었다(Tab. 4-3).

4.2 블록그룹에서 소규모 녹지의 기온저감효과

4.2.1 1차 측정에서 소규모 녹지의 블록기온 저감효과

1차 블록그룹별 3회에 해당되는 블록평균기온값을 대응표본 T검정을 실시한 결과, 녹지율이 높은 실험군과 녹지율이 상대적으로 낮은 대조군 간의 대응표본 상관계수는 0.952로 상당히 강한 상관을 보이고 있으며, 이 평균차이의 90% 신뢰구간이 0을 포함하지 않으므로 대조군의 기온값들이 실험군의 기온값들보다 높다고 판단할 수 있었다. 또한 유의확률(양쪽)은 0.09로서 0.1보다 작으므로 유의수준 0.1에서 두 집단 간의 평균차이는 유의하였다. 이에 약 0.8℃ 정도 녹지율이 높은 블록들이 녹지율이 낮은 블록보다 기온저감 효과가 있음을 알 수 있다. 이로써 1차 측정에서는 녹지율이 높은 블록들이 평균기온이 녹지율이 낮은 블록들의 평균기온보다 유의하게 낮아 기온저감 효과가 있는 것으로 판단된다(Tab. 4-4).

Table 4-4. Result of paired samples test about experimental group and control group in repeat1

Pair	Mean	N	Correlation Sig.	df	Sig.
Experimental group	32.4556	9	.000	8	.090
Control group	33.2889	9			

블록그룹간에는 어떤 차이가 있는지를 알아보기 위하여 블록그룹 A의 실험군과 대조군의 대응표본 T검정을 실시한 결과 두 변수의 상관성은 0.967로 높게 나왔으며, 유의확률(양쪽)은 0.073으로서 유의수준 10%에서 평균차이가 유의하였으나 오히려 대조군인 AC 블록이 0.76℃정도 높아(Tab. 4-5) 녹지율 차이에 의한 기온저감 효과는 미미하다고 할 수 있는데, 측정기기 오차의 범위인 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 에 포함되는 수치이기 때문이다. 블록 AE의 경우 AC보다 녹지면적

이 현황 조사된 자료에 따르면 3배 가까이 높게 나타났으나 1차 측정에서 유의한 차이를 보이지 않았다.

블록그룹 B의 실험구과 대조구의 대응표본 T검정결과, 두 변수의 상관성은 0.908로 높게 나왔으며, 유의확률(양쪽)은 0.093으로서 유의수준 10%에서 평균차이가 유의하였다. 또한 90% 신뢰구간이 0을 포함하지 않으므로 BC 블록의 평균기온이 BE블록보다 높은 것으로 판단된다. 이에 녹지율이 높은 BE블록이 BC블록보다 1.36℃ 정도 낮으므로(Tab. 4-5) 기온저감 효과가 있는 것으로 판단된다.

Table 4-5. Averaged air temperature by block groups in repeat1

Block	Ratio of Small green area		Average of Measured Data(℃) with Repeat count			Averaged number and value of Data	
	High	Low	1st	2nd	3rd	Number	Value(℃)
AE	○		35.2	35.5	36.3	18	35.6
AC		○	34.7	34.9	35.1	18	34.9
ΔT_{AC-AE}			-0.5	-0.6	-1.2		-0.7
BE	○		33.8	33.9	34.2	18	34
BC		○	34.3	35.5	36.2	18	35.3
ΔT_{BC-BE}			0.5	1.6	2.0		1.3
CE	○		28.1	27.8	27.3	51	27.7
CC		○	29.8	29.8	29.3	51	29.6
ΔT_{CC-CE}			1.7	2.0	2.0		1.9

블록그룹 C의 실험구와 대조구의 대응표본 T검정을 실시한 결과 두 변수의 상관성은 0.929로 높게 나왔으며, 유의확률(양쪽)은 0.003으로서 유의수준 1%에서 평균차이가 유의하였다. 또한 99% 신뢰구간이 0을 포함하지 않으므로 CC 블록의 평균기온이 CE블록보다 높은 것으로 판단된다. 이에 녹지율이 높은 CE블록이 CC블록보다 1.9℃ 정도 낮은 수준으로(Tab. 4-5) 기온저감 효과가 있는 것으로 판단된다.

4. 2. 2 2차 측정에서 소규모 녹지의 블록기온 저감효과

2차 측정에서 수집된 블록그룹별 블록평균기온값을 대응표본 T검정을 실시한 결과 실험군과 대조군 간의 대응표본 상관계수는 0.335로 비교적 약한 상관을 보였으며, 이 평균차이의 95% 신뢰구간이 0을 포함하지 않으므로 대조군의 기온값들이 실험군의 기온값들보다 높다고 판단할 수 있었다. T검정에서 유의확률(양쪽)은 0.037로서 0.05보다 작으므로 유의수준 5%에서 두 집단 간의 평균차이는 유의하였다(Tab. 4-6).

Table 4-6. Result of paired samples test about experimental group and control group in repeat2

Pair	Mean	N	Correlation Sig.	df	Sig.
Experimental group	30.25	10	0.343528	9	0.037
Control group	30.97	10			

이에 약 0.7℃ 정도 녹지율이 높은 블록들이 녹지율이 낮은 블록보다 기온저감 효과가 있음을 알 수 있다. 이로써 2차 측정에서도 녹지율이 높은 블록들의 평균기온이 녹지율이 낮은 블록들의 평균기온보다 유의하게 낮아 기온저감 효과가 있는 것으로 판단된다.

블록그룹 내 기온차이를 비교하였을 때, 블록그룹 A의 실험군과 대조군의 대응표본 T검정에서는 두 변수의 상관성이 0.982로 높게 나왔으며, 유의확률(양쪽)은 0.002로서 유의수준 1%에서 평균차이가 유의하였다. 또한 99% 신뢰구간이 0을 포함하지 않으므로 AC블록의 평균기온이 AE블록보다 높은 것으로 판단된다. 이에 녹지율이 높은 AE블록이 AC블록보다 0.7℃ 정도 낮으므로(Tab. 4-6) 기온저감 효과가 있는 것으로 판단된다.

Table 4-7. Averaged air temperature by block groups in repeat2

Block	Ratio of Small green area		Average of Measured Data(℃) with Repeat count				Averaged number and value of Data	
	High	Low	1st	2nd	3rd	4th	Number	Value(℃)
AE	○		29.2	29.5	29.8	-	18	29.5
AC		○	29.9	30.1	30.5	-	18	30.2
ΔT_{AC-AE}			0.7	0.6	0.7			0.6
BE	○		30.7	31.1	31.4	-	18	31.1
BC		○	30.2	30.5	31.1	-	18	30.6
ΔT_{BC-BE}			-0.5	-0.6	-0.3			-0.5
CE	○		29.7	30.1	30.3	30.7	51	30.2
CC		○	31.2	31.6	32.1	32.5	51	31.9
ΔT_{CC-CE}			1.5	1.5	1.8	1.8		1.7

블록그룹 B의 실험구와 대조구의 대응표본 T검정을 실시한 결과, 두 변수의 상관성은 0.963으로 높게 나왔으며, 유의확률(양쪽)은 0.034로서 유의수준 5%에서 평균차이가 유의하였으나 오히려 대조군인 AC블록이 0.5℃ 정도 높아(Tab. 4-7) 녹지율 차이에 의한 기온저감 효과는 미미하다고 할 수 있는데, 측정기기 오차의 범위인 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 에 포함되는 수치이기 때문이다. 블록 BE의 경우 BC보다 녹지면적이 현황 조사된 자료에 따르면 2배 가까이 높게 나타났으나 기온저감에는 유의한 영향을 주지 못한 것으로 나타났다.

블록그룹 C의 실험구와 대조구의 대응표본 T검정을 실시한 결과 두 변수의 상관성은 0.986로 높게 나왔으며, 유의확률(양쪽)은 0.000으로서 유의수준 1%에서 평균차이가 유의하였다. 또한 99% 신뢰구간이 0을 포함하지 않으므로 CC 블록의 평균기온이 CE블록보다 높은 것으로 판단된다. 이에 녹지율이 높은 CE블록이 CC블록보다 1.7℃ 정도 낮은 수준으로(Tab. 4-8) 기온저감 효과가 있는 것으로 판단된다.

4. 2. 3 3차 측정에서 소규모 녹지의 블록기온 저감효과

3차 측정에서 블록평균기온값에 대한 대응표본 T검정을 실시한 결과 실험군과 대조군 간의 대응표본 상관계수는 0.984로 상당히 강한 상관을 보이고 있으며, 이 평균차이의 99% 신뢰구간이 0을 포함하지 않으므로 대조군의 기온값들이 실험군의 기온값들보다 높다고 판단할 수 있다. 유의확률(양쪽)은 0.000로서 0.01보다 작으므로 유의수준 0.01에서 두 집단 간의 평균차이는 유의하였다(Tab. 4-8).

Table 4-8. Result of paired samples test about experimental group and control group in repeat3

Pair	Mean	N	Correlation Sig.	df	Sig.
Experimental group	31.74	10	0.000	9	0.000
Control group	33.17	10			

이에 약 1.4℃ 정도 녹지율이 높은 블록들이 녹지율이 낮은 블록보다 기온저감 효과가 있음을 알 수 있다. 이로써 3차 측정에서도 녹지율이 높은 블록들이 평균기온이 녹지율이 낮은 블록들의 평균기온보다 유의하게 낮아 기온저감 효과가 있는 것으로 판단된다.

블록그룹 A의 실험구와 대조구의 대응표본 T검정을 실시한 결과 두 변수의 상관성은 0.5로 중간정도로 나왔으며, 유의확률(양쪽)은 0.002로서 유의수준 1%에서 평균차이가 유의하였다. 또한 99% 신뢰구간이 0을 포함하지 않으므로 AC 블록의 평균기온이 AE블록보다 높은 것으로 판단된다. 이에 녹지율이 높은 AE블록이 AC블록보다 0.7℃ 정도 낮으므로(Tab. 4-9) 기온저감 효과가 있는 것으로 판단된다.

Table 4-9. Result of Air Temperature Measurement by block groups in repeat 3

Block	Ratio of Small green area		Average of Measured Data(°C) with Repeat count				Averaged number and value of Data	
	High	Low	1st	2nd	3rd	4th	Number	Value(°C)
AE	○		33.1	33.1	33.2	-	18	33.1
AC		○	33.9	33.8	33.9	-	18	33.9
ΔT_{AC-AE}			0.8	0.7	0.7			0.8
BE	○		32.4	32.9	33.1	-	18	32.8
BC		○	33.5	33.9	34.3	-	18	33.9
ΔT_{BC-BE}			0.5	1.6	2.0			1.1
CE	○		29.6	29.7	30.1	30.2	51	29.9
CC		○	31.7	31.9	32.4	32.4	51	32.1
ΔT_{CC-CE}			2.1	2.2	2.4	2.2		2.2

블록그룹 B의 실험구과 대조구의 대응표본 T검정을 실시한 결과 두 변수의 상관성은 0.971로 높게 나왔으며, 유의확률(양쪽)은 0.003으로서 유의수준 1%에서 평균차이가 유의하였다. 또한 99% 신뢰구간이 0을 포함하지 않으므로 BC 블록의 평균기온이 BE블록 보다 높은 것으로 판단된다. 이에 녹지율이 높은 BE블록이 BC블록 보다 1.1°C 정도 낮으므로(Tab. 4-9) 기온저감 효과가 있는 것으로 판단된다.

블록그룹 C의 실험구과 대조구의 대응표본 T검정을 실시한 결과 두 변수의 상관성은 0.986로 높게 나왔으며, 유의확률(양쪽)은 0.000으로서 유의수준 1%에서 평균차이가 유의하였다. 또한 99% 신뢰구간이 0을 포함하지 않으므로 CC 블록의 평균기온이 CE블록 보다 높은 것으로 판단된다. 이에 녹지율이 높은 CE블록이 CC블록 보다 2.2°C 정도 낮은 수준으로(Tab. 4-9) 기온저감 효과가 있는 것으로 판단된다.

4. 2. 4 전체 측정에서 소규모 녹지의 블록기온 저감효과

1차, 2차, 3차 측정에서 수집된 블록그룹별 블록평균기온값을 대응표본 T검정을 실시한 결과 녹지율이 높은 실험군과 녹지율이 상대적으로 낮은 대조군 간의 대응표본 상관계수는 0.908로 상당히 강한 상관을 보였으며, 이 평균차이의 99% 신뢰구간이 0을 포함하지 않으므로 대조군의 기온값들이 실험군의 기온값들보다 높다고 판단할 수 있었다. T검정에서 유의확률(양쪽)은 0.000로서 0.01보다 작으므로 유의수준 0.01에서 두 집단 간의 평균차이는 유의하였다(Tab. 4-10).

이에 약 평균 1.0℃ 정도 녹지율이 높은 블록들이 녹지율이 낮은 블록보다 기온저감 효과가 있음을 알 수 있었다.

이로써 1차, 2차, 3차 측정 전체에서도 녹지율이 높은 블록들의 평균기온이 녹지율이 낮은 블록들의 평균기온보다 유의하게 낮아 기온저감 효과가 있는 것으로 판단된다. 이에 블록그룹별 대응표본 T검정을 실시함으로써 블록그룹간에 어떤 차이가 있는지를 분석하였다.

Table 4-10. Result of paired samples test about experimental group and control group in total repeat

Pair	Mean	N	Correlation Sig.	df	Sig.
Experimental group	31.44828	29	0.000	28	0.000
Control group	32.44828	29			

블록그룹 A의 실험구, 대조구의 대응표본 T검정을 실시한 결과, 두 변수의 상관성은 0.976으로 높게 나왔으며, 유의확률(양쪽)은 0.428로서 유의수준 10%에서도 평균차이가 유의하다고 할 수 없었다. 이에 전체 측정에서 블록그룹 A는 녹지율이 높은 AE가 녹지율

이 상대적으로 낮은 AC보다 기온의 차이가 평균 0.2°C 정도 낮으나 이 평균의 차이가 있다고 할 수 없었다.

블록그룹 B에서는 대응표본 T검정 결과, 두 변수의 상관성은 0.980로 높게 나왔으나, 유의확률(양쪽)은 0.067로서 유의수준 10%에서 평균차이가 유의하였다. 또한 90% 신뢰구간이 0을 포함하지 않으므로 BC 블록의 평균기온이 BE블록보다 높은 것으로 판단된다. 이에 녹지율이 높은 BE블록이 BC블록보다 0.7°C 정도 낮은 수준으로 기온저감 효과가 있었다.

블록그룹 C에서 대응표본 T검정결과를 보면 두 변수의 상관성은 0.971로 높았으며, 유의확률(양쪽)은 0.000으로서 유의수준 1%에서 평균차이가 유의하였다. 또한 99% 신뢰구간이 0을 포함하지 않으므로 CC 블록의 평균기온이 CE블록보다 높은 것으로 판단된다. 이에 녹지율이 높은 CE블록이 CC블록보다 2.6°C 정도 낮은 수준으로(Tab. 4-10) 기온저감 효과가 있는 것으로 판단된다.

이에 전체 측정된 결과를 비교하여 보았을 때 블록그룹 A는 소규모 녹지의 기온저감 효과가 미미하며, 블록그룹 C는 소규모 녹지의 기온저감 효과가 매우 높다고 할 수 있다.

4.3 블록단위에서 소규모 녹지의 기온저감 효과

4.3.1 블록 지점별 기온측정 결과

블록 AE와 블록 AC에서 반복 1은 반복 3보다 평균 5℃ 정도 높았는데, 반복 1의 측정시간이 일사로 인한 대기가열이 최고조로 발생하는 14시였던 반면, 반복 3은 일사량이 상대적으로 줄어드는 17시였기 때문이다. 반복 2는 반복 3보다 평균 3℃ 정도 낮았으며, 반복 3의 측정시간이 16시 정도로서 반복 2의 측정시간보다 1시간 정도 빨랐기 때문인 것으로 사료된다. 블록 AE의 지점별 평균기온값의 변화를 보면, 1번에서 8번까지는 대체로 기온이 하강하는 경향을 보이다가 9번에서 1℃ 정도 상승하고 다시 10번에서 1.5℃ 정도 급하강한다. 10번부터 14번까지는 기온이 급상승하게 되며, 이후 18번까지는 기온이 완만하게 하강하고 있다(Fig. 4-1). 블록 AC의 경우 평균기온값의 변화를 보면, 대체적으로 1℃ 이상의 편차를 보이는 지점들이 없었다(Fig. 4-1).

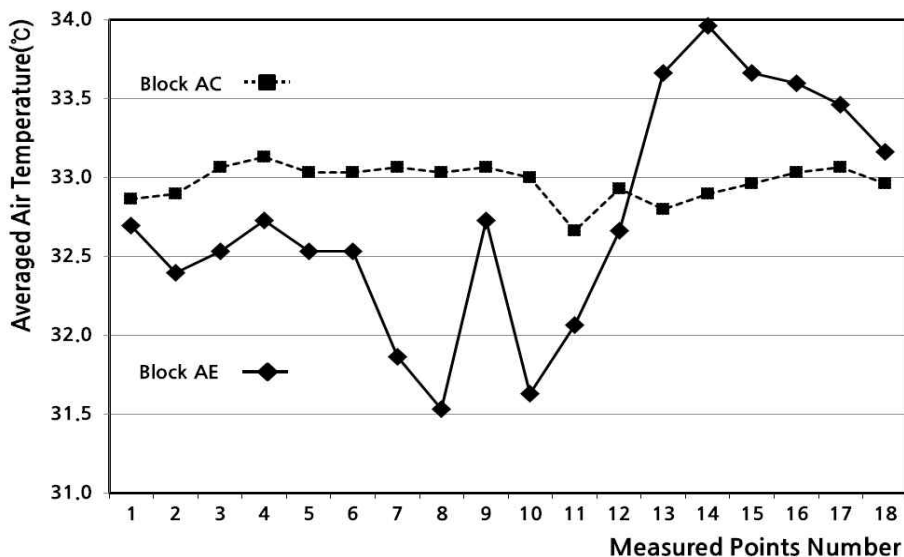


Figure 4-1. Averaged air temperature by points in group A

블록그룹 B도 블록그룹 A와 같이 측정시간대가 이룰수록 기온이 높았고, 반복에 따라서 기온변화의 경향은 비슷하게 나타났으나 (Fig. 4-2), 블록별 반복에 따라서는 상이한 구간도 있었다. 블록 BE에서 1번~12번, 16-18번은 반복에 따라서 비슷한 기온변화의 경향을 보이나, 반복3에서 12번과 13번의 기온 차이가 다른 반복에서는 거의 없는 반면, 0.6℃ 정도 13번이 높았다(Fig. 4-2). 이는 측정기기의 오차범위(± 0.5)에 근접하는 수치이며, 이 지점이 차도에 바로 면한 일사면으로서 다른 측정일에도 높은 기온을 보이는 지점이었던 것과 측정당일 최고기온이 34.4℃로 블록에서 가장 높았기 때문이었다. 블록 BC의 경우 평균기온값의 변화를 보았을 때, 1번에서 8번까지는 기온변화가 크지 않다가, 9번에서 기온이 상승하여 10번에서 최고조를 이루고, 12번까지는 하강하는 형태를 취하고 있었다(Fig. 4-2).

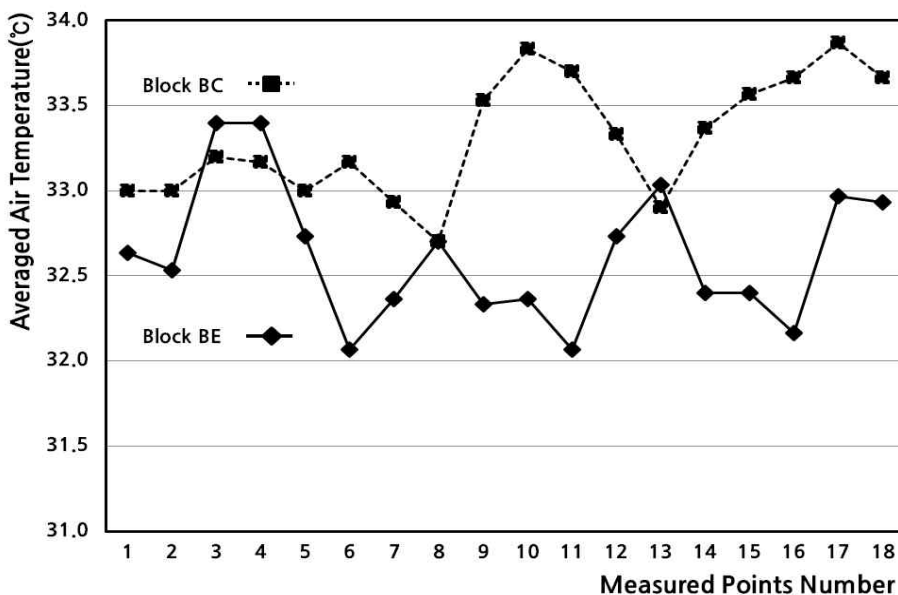


Figure 4-2. Averaged air temperature by points in group B

블록그룹 C의 경우, 반복1의 지점이 36개소, 반복2, 3은 51개소로 상이하였으므로, 분리하여 경향을 파악하였다. 반복 1에서 블록 CE의 경우 8번을 기점으로 하여 1번에서 7번까지는 기온이 하강하다가, 9번까지 상승을 하고, 17번까지 계속 하강하였다. 이후 26번 지점을 기준으로 이전과 이후의 지점들은 하강을 하는 패턴을 보였다. 블록 CC의 경우 1번에서 12번까지 6번 지점을 기점으로, 12번에서 17번은 14번을 기점으로, 17번에서 36번까지는 26번 지점을 기점으로 상승과 하강을 하였다. 반복 2와 3에서 블록 CE는 1번에서 12번, 27번에서 43번이 3℃ 정도의 폭으로 상승과 하강을 하였는데, 8번과 33번을 그 기점으로 하였다(Fig. 4-3). 한편 블록 CC에서는 29번에서 51번의 구간이 38번지점을 기점으로 4℃ 정도의 상승과 하강을 보였다(Fig. 4-3).

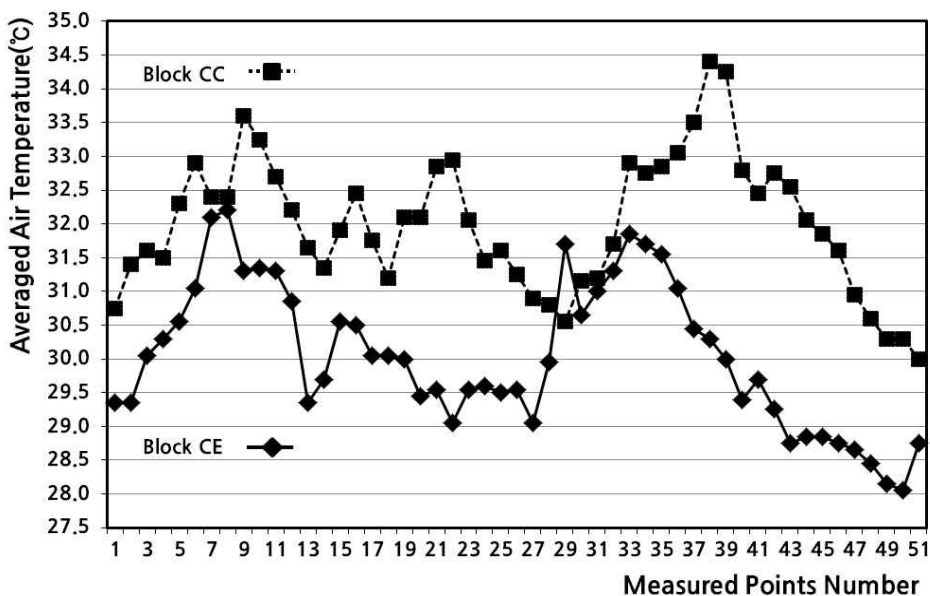


Figure 4-3. Averaged air temperature by points in group C(repeat 2, 3)

4.3.2 측정지점 기온영향요소로서 소규모 녹지의 효과

(1) 블록 AE에서 소규모 녹지의 기온저감 효과

평균적으로 최고기온을 나타내는 지점은 14번으로서 반복1에서는 36.8℃, 반복2에서는 31.3℃, 반복3에서는 34.3℃였으며, 평균최저기온을 나타내는 지점은 반복1과 2에서 8번으로 각각 34.8℃, 27.8℃를 보였으며, 반복3에서는 10번으로서 31.7℃를 보였다(Fig. 4-4). 14번은 측정지점이 양지에 있으며, 건물그늘과의 거리는 10m 정도, 녹지와는 20m 떨어져 있는 반면, 블록경계 도로와의 거리는 2m, 건물외벽과도 2m 정도로 가까워(Appendix 3) 일사에 의한 현열증가로 인하여 기온상승이 최고조에 이른 것으로 보인다(Tab. 4-11).

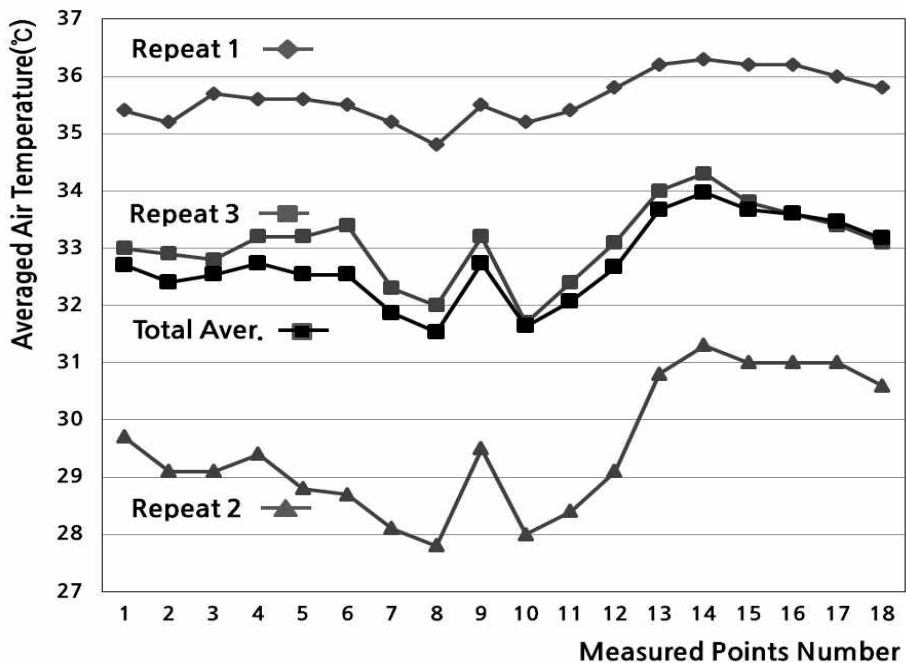


Figure 4-4. Air temperature by points in Block AE

최저기온을 나타내는 지점 중 8번의 경우(Fig. 4-4), 2열 식재된 은행나무 가로수로서 건물그늘 상에 있으며, 양지인 포장면과는 25m 정도 이격된 반면, 블록경계 도로와도 3.5m, 건물외벽과의 거리도 3m로 가까와 기온상승요인이 있음에도 건물그늘과 2열 가로수에 의한 기온하강이 영향을 준 것으로 판단된다. 10번 지점의 경우(Fig. 4-4), 혼효림 식재가 이루어진 비교적 큰 규모의 녹지가 2m 이내에 위치하고 있는데, 건물그늘과의 거리는 24m로 비교적 멀고, 양지 포장면 상에 위치하여 기온상승의 요인들이 충분함에도 기온하강의 요소로서 역할을 하고 있다(Tab. 4-11)(Appendix 3).

Table 4-11. Evaluation of T_{NGP} or T_{SGP} by analysis of which land cover pattern influenced to reach T_{HP} or T_{LP} within block AE

T _{HP} or T _{LP}	point No.	Air temp.* (°C)	repeat	Land cover pattern of rising or dropping air temperature with sunny or shade			Result
				on point	close to the point(distance:m)		
					rising temp.	dropping temp.	
T _{HP}	14	33.2	1-3	S	boundary road(2) buiding wall(2)	building shade(10) street trees(20)	T _{NGP}
T _{LP}	8	31.3	1-2	GS	boundary road(4) buiding wall(3)	buiding shade(0)	T _{SGP}
	10	31.7	3	S	-	mixed green(2) buiding shade(0)	T _{SGP}

note) * : averaged air temperature / S : sunny place and GS : green space

(2) 블록 AC에서 소규모녹지의 기온저감 효과

평균적으로 최고기온을 나타내는 지점은 1반복에서는 8번(35.3°C), 반복2에서는 17번으로 30.5°C, 반복3에서는 12번으로 34.2°C를 보였다(Fig. 4-3, 4). 8번은 측정지점이 건물그늘 및 소나무와 2.5m 떨어져 있으나 그늘효과 없었으며, 블록경계 도로와의 거리는 2m 정도로 빈번한 교통과 도로 현열증가로 인하여 기온상승이 된 것으로 판단된다. 17번은 건물그늘에 위치하나, 건물 사이간격이 좁아(2.9m) 기온상승을 유도한 것으로 판단된다. 12번의 경우 블록경

계도로 근방(6.4m)에 대형교목이 있으나 주변이 불투수포장으로 넓게 형성되어 기온상승에 영향을 준 것으로 판단된다(Appendix 3).

평균최저기온을 나타내는 지점들은 반복1에서는 13번이 34.5℃, 반복2에서는 11번이 29.7℃, 반복3에서는 2번과 11번이 각각 33.5℃와 33.6℃를 보였다(Tab. 4-12). 13번의 경우 면형으로 형성된 자투리형 녹지가 분포되어 있으며, 건물그늘, 일사면, 블록경계도로와 15m 이상 이격되어 있어(Tab. 4-12) 녹지만의 기온하강 효과가 두드러지고 있는 것으로 판단된다. 11번의 경우는 은행나무로 형성된 자투리형 녹지가 분포되고 있으며, 건물그늘로부터 5.2m 떨어져 있어(Tab. 4-12) 교목 밀식에 의한 그늘형성과 저온역의 형성이 최저기온에 영향을 준 것으로 판단된다. 2번의 경우는 은행나무 가로수 그늘에 위치하고 있으며, 건물벽면도 그늘에 의해서 현열이 감소되어(Tab. 4-12) 최저기온을 나타낸 것으로 판단된다(Appendix 3).

Table 4-12. Evaluation of T_{NGP} or T_{SGP} by analysis of which land cover pattern influenced to reach T_{HP} or T_{LP} within block AC

T _{HP} or T _{LP}	point No.	Air temp.* (°C)	repeat	Land cover pattern of rising or dropping air temperature with sunny or shade			Result
				on point	close to the point(distance:m)		
					rising temp.	dropping temp.	
T _{HP}	8	35.3	1	BS	boundary road(2)	building shade(3) scrub pine tree(3)	T _{NGP}
	17	30.5	2	BS	buildings' gap(3)	-	T _{NGP}
	12	34.2	3	S	boundary road(2) broad plaza	big ginkgo(6)	T _{NGP}
T _{LP}	13	34.5	1	GS	sunny place(15) boundary road(15)	buiding shade(15)	T _{SGP}
	11	29.7	2	GS	boundary road(5)	densed ginkgos(0)	T _{SGP}
		33.6	3			buiding shade(5)	
		2	33.5	3	GS	boundary road(2)	tree shade(0) shaded wall(2)

note) * : averaged air temperature

S : sunny place, GS : green space and BS : building shade

(3) 블록 BE에서 소규모녹지의 기온저감 효과

평균최고기온을 나타내는 지점은 반복1에서는 3번으로서 34.8℃, 반복2에서는 4번으로 32.2℃, 반복3에서는 13번이 33.9℃를 보였다 (Fig. 4-5). 3번의 경우 일사면인 아스팔트로 포장면과의 거리가 0m이며, 건물그늘은 20m 정도 떨어져 있고, 녹지는 주변 30m 이내에는 분포하지 않고 있어(Tab. 4-13) 기온상승의 원인을 제공한 것으로 판단된다. 13번의 경우 대리석으로 포장된 일사면에 위치하며, 바로 1m 옆에 블록경계도로가 있어(Tab. 4-13) 기온상승의 주된 원인이 된 것으로 파악된다. 아울러 2m 거리에 수관폭이 1.5m 미만의 침엽수가 있었으나(Tab. 4-13) 기온하강에의 영향은 거의 없었다(Appendix 3).

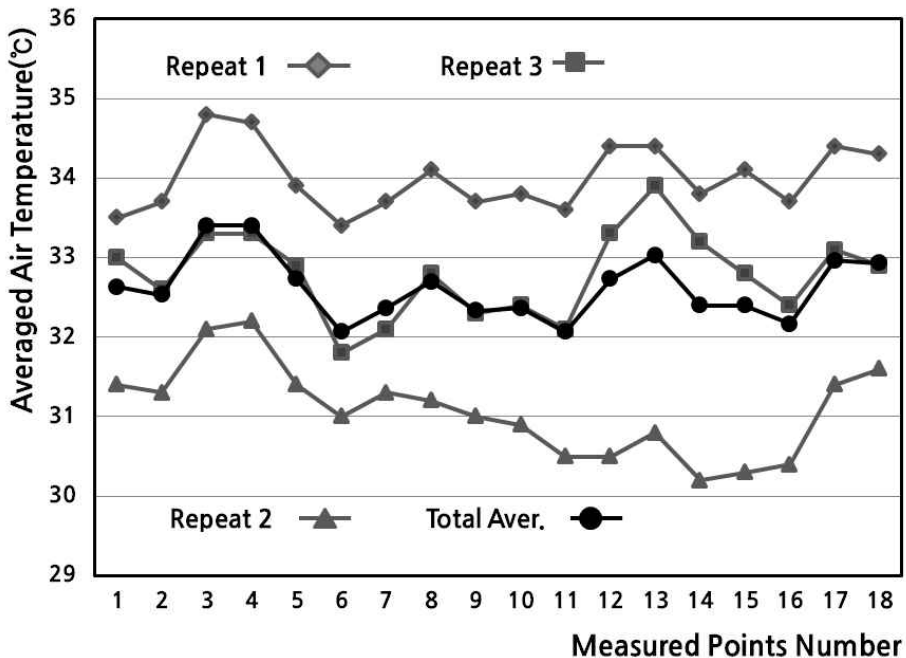


Figure 4-5. Air temperature by points in Block BE

평균최저기온을 나타내는 지점은 반복1에서는 6번으로 33.4℃를, 반복2차는 14번으로 30.2℃를, 반복3에서는 6번이 31.8℃를 보였다 (Fig. 4-5). 6번의 경우 건물그늘과 5m 정도 떨어져 있으며, 선형으로 이루어진 혼효림과는 1.8m 가깝게 위치하고 있으므로 (Tab. 4-13) 두 기온하강요소들의 상호작용에 기인한 것으로 판단되며, 최고기온과 비교하여 약 1.5℃ 기온의 하강을 보이고 있다. 14번의 경우 인근한 녹지인 16번과 0.1℃로 비슷한데, 두 지점 모두 수관폭 5m 정도의 활엽수 선형녹지 내에 지점이 위치하고 있어 (Tab. 4-13) 직접적인 기온하강의 영향을 받은 것으로 판단된다. 14번은 이러한 상황에 더하여 건물그늘이 2m 이내로 위치함으로써 기온하강에 더욱 영향을 주었을 것으로 판단된다. 아울러 16번의 경우는 바로 1m 거리에 블록경계도로가 위치하고 있고, 녹지 외 기온하강요소가 없음 (Tab. 4-13)에도 14번과 비슷한 기온을 보이고 있었다 (Appendix 3).

Table 4-13. Evaluation of T_{NGP} or T_{SGP} by analysis of which land cover pattern influenced to reach T_{HP} or T_{LP} within block BE

T _{HP} or T _{LP}	point No.	Air temp.* (℃)	repeat	Land cover pattern of rising or dropping air temperature with sunny or shade			Result
				on point	close to the point(distance:m)		
					rising temp.	dropping temp.	
T _{HP}	3	34.8	1	S	sunny asphalt(0)	building shade(20) green (30)	T _{NGP}
	4	32.2	2	S	sunny asphalt(0)	building shade(10) green (30)	T _{NGP}
	13	33.9	3	S	boundary road(1)	scrub pine tree(2)	T _{NGP}
T _{LP}	6	33.4	1	GS	-	buiding shade(5) big linear green(2)	T _{SGP}
		31.8	3				
	14	30.2	2	GS	boundary road(1)	densed zelkvas(0) buiding shade(5)	T _{SGP}

note) * : averaged air temperature / S : sunny place, GS : green space

(4) 블록 BC에서 소규모녹지의 기온저감 효과

평균최고기온은 반복1에서는 10번이 36.2℃, 반복2에서는 10, 11번, 17번이 31.1℃를, 반복3에서는 17, 18번이 34.7℃를 보였다(Tab. 4-14). 10번의 경우에는 일사포장면 상에 위치하고 있으며, 포장면 근방에 건물그늘이 전혀 형성되지 않고, 가로수인 은행나무가 있으나 수관폭이 2m에 왜소한 형상으로 거의 그늘이 형성되지 않고 있다. 또한 블록경계부 도로와도 인접하고 있으며, 2m 거리에 실외기가 위치하고 있으므로 기온상승의 요소가 증수효과를 일으키고 있다. 11번의 경우 10번과 마찬가지로 그 비슷한 가로수의 외형은 역할을 하지 못하고 있으며, 건물그늘도 없고, 오로지 일사를 받는 지점에 위치하고 있다. 17번은 일사면에 위치하고 있으며, 건물그늘과 녹지가 전혀 없으며, 13m 정도 거리에 대형실외기가 설치되어 있어 폐열을 발생시키는 것이 기온상승의 원인이 된 것으로 판단된다. 18번의 경우 건물로 인한 그늘이 형성된 곳에 위치하고 있으나 1.3m 거리에 아스팔트로 포장된 대형 노상주차장이 위치하고, 블록경계도로와의 거리도 2m 내로 위치하게 됨에 따라 기온상승이 일어난 것으로 판단된다(Appendix 1, 3).

평균최저기온을 나타내는 지점들은 반복1이 2번과 8번으로 34.8℃, 반복2가 1번으로 30.1℃, 반복3에서는 8번이 33.3℃를 보였다(Tab. 4-14). 2번의 경우 블록경계면 도로와 2m 정도로 가까운 반면, 수관폭 6m 정도로 유지되고 있는 은행나무 가로수 바로 밑에 위치하고 있으며, 인근 느티나무 녹지와도 바로 면해 있어 그늘형성이 효과적으로 되고 있는 지점이었다. 1번의 경우 일사를 받는 건물 외벽이 3m 거리에 위치하고 있으며, 4m 거리에 블록경계에 면한 차도와 일사포장면이 있으나, 건물그늘과 은행나무가로수, 그리고, 지하도 등이 1m 이내에 위치하고 있으므로 기온하강의 요소들이 증수효과를 일으킨 것으로 판단된다. 8번의 경우 블록경계도로가 2m

이내에 있음에도 1열로 은행나무가 밀식되어 있으며, 건물그늘 영향 아래에 있어 기온하강의 요소들을 갖추고 있다(Appendix 1, 3).

Table 4-14. Evaluation of T_{NGP} or T_{SGP} by analysis of which land cover pattern influenced to reach T_{HP} or T_{LP} within block BC

T _{HP} or T _{LP}	point No.	Air temp.* (°C)	repeat	Land cover pattern of rising or dropping air temperature with sunny or shade			Result
				on point	close to the point(distance:m)		
					rising temp.	dropping temp.	
T _{HP}	10	36.2	1	S	sunny pave(0) building wall(2) heating fan(2) boundary road(1)	scrub tree(2)	T _{NGP}
		31.1	2				
	11	31.1	2	S	sunny pave(0) boundary road(1)	scrub tree(2)	T _{NGP}
	17	31.1	2	S	big heating fan(13) boundary road(1)	–	T _{NGP}
		34.7	3				
	18	34.7	3	BS	large sunny asphalt(1) boundary road(1)	–	T _{NGP}
T _{LP}	2	34.8	1	GS	boundary road(2)	ginkgo shade(0) zelkova green(3)	T _{SGP}
	8	34.8	1	GS	boundary road(1)	densed zelkvas(0)	T _{SGP}
		33.3	3				
	1	30.1	2	–	boundary road(1)	underpass(0) building and ginkgo shade(0)	–

note) * : averaged air temperature

S : sunny place, GS : green space and BS : building shade

(5) 블록 CE에서 소규모녹지의 기온저감 효과

반복1에서 평균 최고기온은 26번으로서 28.9℃를 보였다. 이 지점은 일사포장면 상에 위치하고 있으며, 블록경계도로와도 3m로 인근하고 있다. 또한 건물그늘이 전혀 없고, 3.5m 인근에 위치한 가로수는 수관폭 2m 정도의 왜소한 활엽수로서 기온하강에 도움을 주지 못하고 있다(Appendix. 3). 평균 최저기온은 17번으로 26.7℃를 보였는데, 건물그늘과 수목그늘에 의한 기온하강 승수효과가 발생한

것으로 판단된다.

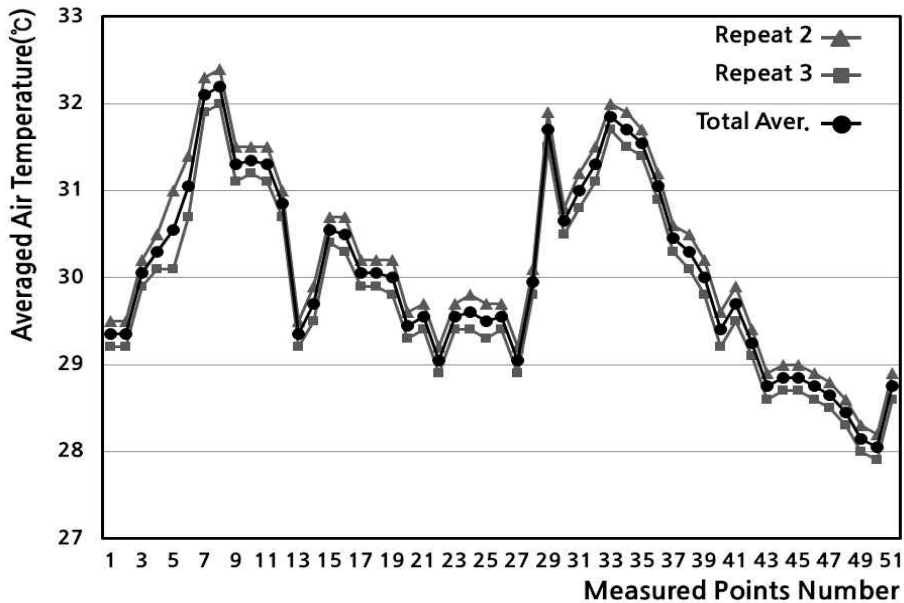


Figure 4-6. Air temperature by points in Block CE - repeat 2, 3

반복2와 3에서 평균최고기온은 8번으로서 각각 32.4°C, 32.0°C를 보였다(Fig. 4-6). 지점이 위치한 곳에는 석재포장과 목재포장이 비교적 넓은 면적을 이루고 있으며, 4m 인근한 건물외벽으로부터의 영향이 있고, 블록경계도로가 4m인근에 위치함으로써(Tab. 4-15) 기온상승의 요인들이 상승효과를 일으킨 것으로 판단된다. 여기서 4m 이격된 곳의 가로수는 수관폭이 1.2m 정도의 아교목으로(Tab. 4-15) 기온하강에는 영향을 주지 못하였다. 또한 평균최저기온은 반복2와 3 공통으로 50번이었으며, 각각 28.2°C, 27.9°C를 보였다(Fig. 4-6). 이 지점은 혼효림으로 이루어진 블록 중심에 위치한 녹지(Appendix 1,3; Tab. 4-15)로서 공원의 형태를 띠고 있다. 주변건물의 영향이 거의 없을 만큼 그 규모가 1,700㎡ 정도로 크며, 건물음지도 분포하고 있고, 주변 10m 이내에 비슷한 규모의 다른

공개공지 녹지도 위치하고 있으므로 기온하강의 상승효과가 있었던 것으로 판단된다(Tab. 4-15).

Table 4-15. Evaluation of T_{NGP} or T_{SGP} by analysis of which land cover pattern influenced to reach T_{HP} or T_{LP} within block CE

T _{HP} or T _{LP}	point No.	Air temp.* (°C)	repeat	Land cover pattern of rising or dropping air temperature with sunny or shade			Result
				on point	close to the point(distance;m)		
					rising temp.	dropping temp.	
T _{HP}	8	32.4	2	S	large sunny pave(0) building wall(4) boundary road(4)	scrub trees(4) building shade(15)	T _{NGP}
		32.0	3				
T _{LP}	50	28.2	2	GS	–	mixed green park(0) building shade(5) other greens(10)	T _{SGP}

note) * : averaged air temperature / S : sunny place and GS : green space

(6) 블록 CC에서 소규모녹지의 기온저감 효과

반복1에서 평균최고기온은 6번으로서 30.1°C였다(Appendix. 3). 양지에 위치하며, 건물그늘과의 거리는 4m, 주변 건물과는 7m, 블록 내 차도아 2m의 거리를 두며, 기온하강요소는 미미하였다. 또한, 평균최저기온은 25층 건물이 광범위하게 그늘을 드리운 36번으로서 28.6°C를 보였다(Appendix 3, 4).

반복 2, 3에서 평균최고기온은 38번이 각각 34.8°C, 34.5°C를 보였다(Tab. 4-16, Fig. 4-7). 이 지점은 일사면 상에 위치하며, 지점반경 10m 이내에 일사를 지속적으로 받는 포장면이 펼쳐져 있어 기온상승에 가장 많은 영향을 미쳤다. 평균최저기온은 51번으로 반복2에서는 29.9°C, 반복3에서는 30.1°C를 보였다(Tab. 4-16). 이 지점은 인근 25층 건물그늘 하부에 위치하며, 1m 인근한 건물의 그늘영향과 함께, 수관폭 7m 정도의 은행나무 그늘 밑에도 위치함으로써 기온하강 요소가 복합적으로 작용한 것으로 판단된다.

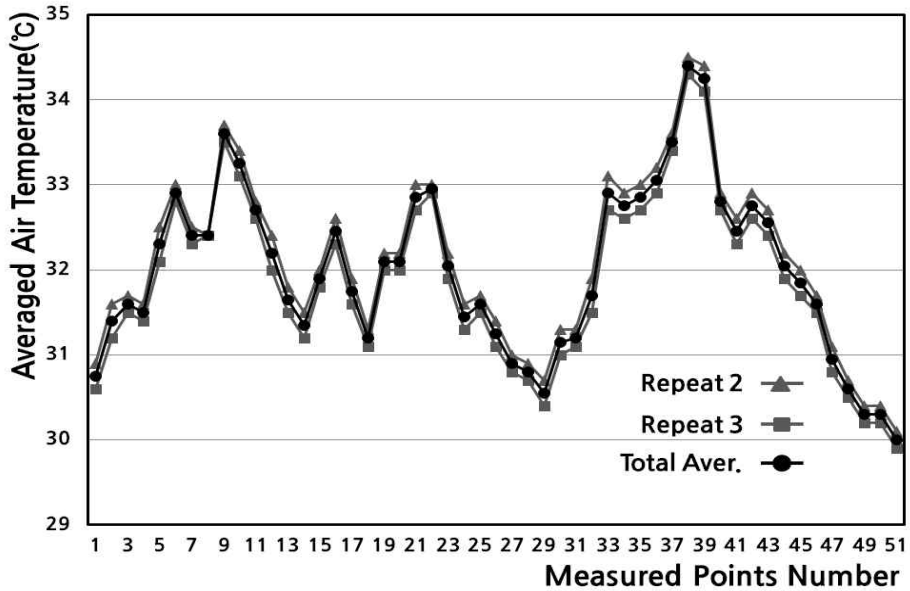


Figure 4-7. Air temperature by points in Block CC – repeat 2, 3

Table 4-16. Evaluation of T_{NGP} or T_{SGP} by analysis of which land cover pattern influenced to reach T_{HP} or T_{LP} within block CC

T _{HP} or T _{LP}	point No.	Air temp.* (°C)	repeat	Land cover pattern of rising or dropping air temperature with sunny or shade			Result
				on point	close to the point(distance;m)		
					rising temp.	dropping temp.	
T _{HP}	38	34.8	2	S	large sunny pave(0) boundary road(4)	green space(15) building shade(20)	T _{NGP}
		34.5	3				
T _{LP}	51	29.9	2	BS	boundary road(2)	large building shade(0) street trees(0)	T _{NGP}
		30.1	3				

note) * : averaged air temperature / S : sunny place and GS : green space

4. 3. 3 비녹지기온과 소규모 녹지기온의 차이

소규모 녹지가 블록단위에서 비녹지기온과 유의한 차이를 보이는지 확인하기 위하여 앞절에서 블록 최고기온 및 최저기온을 분석했던 방식으로 블록 내 비녹지기온과 녹지기온을 분류하였다. 비녹지기온 중 건물음지에 해당하는 지점들과 양지에 해당하는 지점들을 구분하였는데, 건물음지일수록 기온이 낮았으며, 양지일수록 기온이 높았기 때문이다. 이들 세 가지 분류군에 속하고 있으며, 반복측정된 지점별 평균값을 추출하였다(Appendix 5. AX-Tab. 15~16).

Kruskal-Wallis로 분류군간 유의성을 검증하였다(Tab. 4-17).

Table 4-17. Result of Kruskal-Wallis with k independent samples by blocks

Categorization		N by blocks					
Blocks		AE	AC	BE	BC	CE	CC
k	Building shade	6	12	4	3	19	28
	Small green	5	2	5	7	17	10
	Sunny place	7	4	9	8	15	13
	Sum	18	18	18	18	51	51
Chi-Square		8.909	5.558	12.105	13.519	26.056	19.545
df		2	2	2	2	2	2
Asymp.Sig.		.012	.062	.002	.001	.000	.000

note) k : k independent samples

블록 AC의 근사유의 확률값은 0.062로서 10% 수준에서 유의하며, 다른 블록에서는 5% 수준에서 유의하였다(Tab. 4-17). 이로써 건물그늘, 소규모 녹지, 양지로 분류된 집단간의 기온값은 같다고 볼 수 없는 것으로 판정하였다. 이는 세 그룹의 기온이 차이가 나고 있으며, 건물그늘과 녹지의 기온값도 분리가 됨으로써 블록단위에서

소규모 녹지가 독립적인 기온값을 가지고 있음을 알 수 있다.

이에 블록별로 소규모 녹지가 다른 유형의 기온값과의 차이 정도를 알기 위하여 각 유형별 평균값과 블록 내 최고기온을 비교하였다(Tab. 4-18).

Table 4-18. Air temperature differences between 3 classifications by blocks

Blocks	Classification	$T_k(^{\circ}\text{C})$	$T_{HP}(^{\circ}\text{C})$	$T_{HP-k}(^{\circ}\text{C})$
AE	building shade	33.2	34	0.8
	Small green space	32.0	34	2.0
	sunny space	32.9	34	1.1
AC	building shade	33.0	33.1	0.1
	Small green space	32.8	33.1	0.4
	sunny space	33.0	33.1	0.1
BE	building shade	32.5	33.4	0.9
	Small green space	32.2	33.4	1.2
	sunny space	32.9	33.4	0.5
BC	building shade	33.2	33.9	0.7
	Small green space	33.0	33.9	0.9
	sunny space	33.7	33.9	0.2
CE	building shade	29.8	32.2	2.4
	Small green space	29.3	32.2	2.9
	sunny space	31.3	32.2	0.9
CC	building shade	31.7	34.4	2.7
	Small green space	31.6	34.4	2.8
	sunny space	33.0	34.4	1.4

note) T_k : averaged air temperature from sorted points, T_{HP} : Highest air temperature in a block, T_{HP-k} : air temperature difference

블록 AE의 경우 소규모 녹지는 건물그늘보다 낮은 기온을 보이며, 일사면보다는 0.9°C 낮은 경향과 함께 블록 내 최고기온보다는 2°C 낮았다. 블록 AC의 경우 소규모 녹지는 제일 기온값이 낮은 유형을 보이며, 최고기온 보다 0.4°C 낮았다. 블록 BE의 경우 건물그늘보다 낮았으며, 최고기온과는 1.2°C 정도 낮은 기온값을 보였다.

블록 BC에서도 소규모 녹지가 가장 기온이 낮은 유형이며, 최고기온보다 0.9℃ 낮았다. 블록 CE와 블록 CC에서도 소규모 녹지는 가장 낮은 기온을 보이고 있었으며, 최고기온과의 차이는 각각 2.9℃, 2.8℃를 보였다.

종합적으로 보았을 때, 소규모 녹지 유형을 보이는 지점들의 평균 기온값이 건물그늘 유형보다 최고 0.5℃ 낮은 기온을 보이고 있었으며, 일사유형보다는 최고 2℃ 낮아 블록단위에서 기온저감 효과가 있는 것으로 판단된다. 아울러 블록별 최고기온을 나타내는 지점보다는 최저 0.4℃, 최고 2.9℃까지 낮은 결과를 보였다.

4.3.4 소결

블록그룹에서 소규모 녹지가 효과가 있는지에 대한 평가는 우선 실험구와 대조구의 평균화된 기온값을 비교함으로써 검증하였다.

1반복에서 10%, 2반복에서 5%, 3반복에서 1%의 유의성 있게 실험구가 대조구보다 평균기온이 낮았다. $T_{Con-Exp}$ 는 0.7℃~1.4℃로 나타났다. 전체반복으로 블록별 실험구와 대조구의 평균기온값들의 차이를 분석하였을 때, 유의수준 1%에 1.0℃ 정도 실험구가 낮은 결과를 얻었다. 본 분석에서의 녹지율이 높은 실험구와 낮은 대조구의 평균기온은 같다 라는 귀무가설을 기각하게 되므로 실험구가 대조구보다 적어도 1℃ 정도 낮다는 결과를 얻을 수 있었다.

그런데 이 결과는 소규모 녹지만의 효과라기보다는 건물음지와 같은 기온저감 지점 및 양지와 같은 기온상승지점이 평균화되어 나타난 결과이므로 블록 내 소규모 녹지의 지점들이 실제로 기온저감을 갖는지에 대하여 분석하였다. 블록 내 최고기온을 나타내는 지점일수록 양지가 주요 토지이용패턴이었으며, 최저기온을 나타내는 지점일수록 일부 블록에서는 건물그늘이 있었으나, 대체로 소규모 녹지 지점인 경향이 높았다. 이는 블록 내에서 소규모 녹지가 블록단위

평균기온을 하강시키는 요소로 작용하고 있음을 제시하는 결과로 판단된다.

아울러 블록 내 기온의 분류를 녹지기온과 비녹지기온으로 하였을 때, 소규모 녹지가 블록단위에서 평균적으로 나타나는 기온이 비녹지기온들과 어떠한 차이를 보이는지 검증한 바, 비녹지이면서 양지에 해당되는 지점들의 평균값보다 2℃ 정도 낮았으며, 비녹지이면서 건물음지에 해당되는 지점들의 평균값보다는 0.5℃ 정도 낮았다. 이는 블록 내에서 최고기온의 경향을 보이는 토지이용패턴인 양지에 소규모 녹지를 적용하게 되면, 적어도 2℃ 이상의 효과를 나타낼 수 있음을 보여주는 결과이다. 또한 건물음지가 건물면적과 높이에 비례하여 보통의 소규모 녹지가 드리우는 그늘면적보다 훨씬 크다는 점을 고려했을 때, 여기서 주목되는 것은 작은 규모의 녹지라 할지라도 블록 내 지면에 적용하게 되면 건물음지에 필적하는 기온저감 효과를 기대할 수 있다는 것이다.

이러한 결과를 바탕으로 블록단위에서 기온저감을 도모하기 위한 소규모 녹지의 규모는 어느 정도이며, 그 유형은 어떠한지 할지에 대하여 논의해 보고자 한다.

4.4 소규모 녹지 유형과 규모에 따른 기온저감 효과

4.4.1 소규모 녹지 규모 산출을 위한 데이터 추출결과

본 연구의 목적 중 소규모 녹지가 갖는 최소규모와 규모 증가에 따른 기온저감 효과의 상관관계를 분석하기 위해서 6개 대상블록에서 기온데이터가 수집된 측정지점 중 소규모 녹지와 거리 0인 지점들을 추출하였다. 추출된 녹지지점들이 갖는 데이터들 중 산점도로 파악하여, 주요 경향에서 크게 벗어나는 기온값이 높은 데이터들을 분류하여 분석하여 본 결과, 기온데이터 수집 당시 주변에 에어컨 실외기나 대형 설비로 인하여 영향을 받았거나 또는 기기이상으로 간주되어 해당 지점에 위치한 데이터들은 제외하였다. 주요 경향에서 크게 벗어나는 기온값이 낮은 데이터들을 분석하여 본 결과, 건물음지에 가깝게 있거나 실내 에어컨이 외부로 노출된 경우, 지하보도의 냉기가 스며 나온 경우, 물뿌리기 등으로 냉기가 발생된 지점에 위치한 경우 해당 데이터들을 제외하였다. 또한 하나의 녹지에 여러 측정지점이 분포된 경우도 하나의 지점만을 선별하였다.

이에 현황조사로 수집된 녹지정보를 바탕으로 하여 녹지면적과 녹지체적을 산출하고, 총 45개 소규모 녹지지점(AX-Tab. 17,18)을 가지고 분석을 시행하였다. 녹지의 유형은 면형, 선형, 단일식재 유형, 혼합식재 유형으로 분류하였다. 소규모녹지의 블록단위 기온저감효과는 블록 내 최고기온의 평균값에서 추출된 소규모녹지의 평균기온값들을 차감하여 산출하였다(AX-Tab. 17,18).

4.4.2 녹지외형별 규모에 따른 블록단위 기온저감 효과

추출된 면형녹지와 선형녹지가 규모증가에 따라 갖게 되는 기온저감 효과를 알아보기 위하여 산포도를 작성한 결과, 선형녹지의 경우 면적과 체적의 증가에 따른 상관성이 미미하였으며, 면형의 경우 면적과 체적의 증가에 따라 선형의 상관성을 보였다(Fig. 4-8).

이를 바탕으로 하여 블록별 최고기온에서 녹지지점 기온을 뺀 편 차값을 종속변수로 하고, 면형녹지의 면적, 체적, 선형의 면적, 체적 을 각각 독립변수로 하는 단순회귀분석을 실시한 결과, 면형에서는 R^2 값이 90% 이상이고, 유의확률이 5% 수준에서 의미가 있었다. 반 면에 선형녹지는 통계적 유의성이 없었다(Tab. 4-19).

Table 4-19. Simple linear regression result of $\Delta T_{NGP-SGP}$ with small green spaces' area and volume in polygon and linear type

Type	X	Y($\Delta T_{NGP-SGP}$)(°C)	N	R ²	Sig.
Polygon	Area(m ²)	Y = 0.0018X + 0.6781	16	0.9312	0.000
	Volume(m ³)	Y = 0.0003X + 0.3154	16	0.9539	0.000
Linear	Area(m ²)	Y = 0.0011X + 1.6164	29	0.0834	0.124
	Volume(m ³)	Y = 0.0001X + 1.7281	29	0.0851	0.126

면형녹지는 적어도 100~2,000m² 범위 이내에서는 그 면적이 증 가할수록 기온저감의 효과도 상승하게 됨을 알 수 있다. 면형녹지의 체적 또한 면적에서와 마찬가지로 체적이 증가할 때 선형으로 기온 저감효과($\Delta T_{NGP-SGP}$)도 상승하게 되며, 이는 블록단위에서 녹지의 체적 범위가 1,000m³ ~ 12,000m³에서는 지속적인 블록단위 기온감 소를 가져오게 될 것이라 예상할 수 있다.

본 연구결과와 관련하여 녹지체적이 기온저감에 효과가 있음을 실 증한 윤용한(2004)은 규모가 10ha 정도 되는 일본의 공원녹지를 대상으로 한 연구에서 녹지의 유형별 점유비율 중 체적비율이 높을 수록 기온저감에 효과적임을 밝히고 있는데, 그 선형 회귀계수가 최 고 0.032로서 기온의 저감효과가 완만한 직선의 형태로 나타나게 될 것이라고 예상하였다. 이에 대하여 본 연구는 체적비율이 아닌 체적자체와 기온지점을 합치시켰으며, 공간단위를 하나의 공원이 아 닌 도시의 시가화된 공간으로 하였다. 블록 내에서 다양하게 분포하 고 있는 다수의 소규모 녹지에 대한 기온데이터를 수집하여 이들의

기온저감효과를 선형회귀모형으로 제시하였으므로 기존 열섬저감을 위한 녹지규모 연구를 한층 더 발전시켰다고 판단된다.

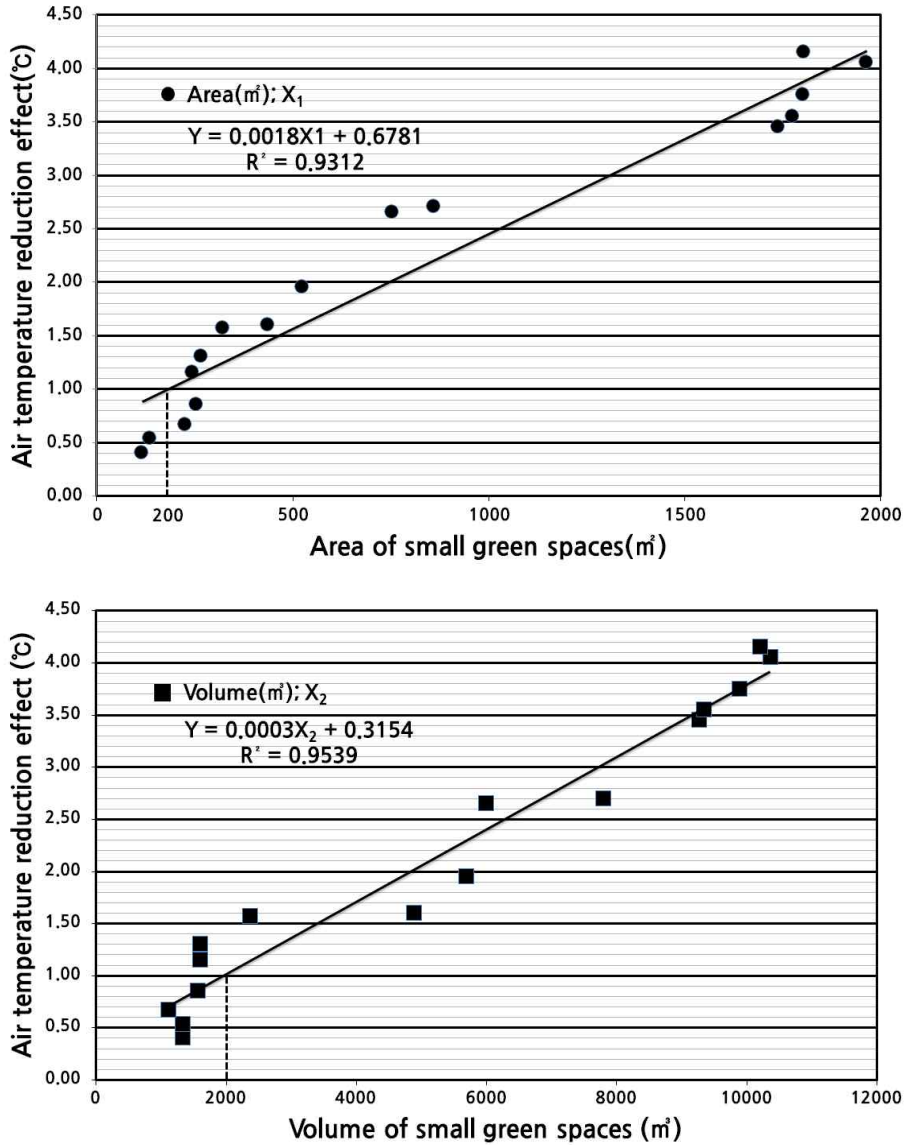


Figure 4-8. Polygon type of small green spaces' air temperature reduction effect by their area(upper) and volume(lower)

4. 4. 3 녹지구조별 규모에 따른 블록단위 기온저감 효과

추출된 단일식재형과 혼합식재형이 규모증가에 따라 갖게 되는 기온저감 효과를 알아보기 위하여 산포도를 작성한 바, 혼합식재형이 면적과 체적의 증가에 따라 선형의 상관성을 보였다. 반면에 단일식재형은 일관성 없는 산포를 보였다.

이를 바탕으로 하여 블록별 최고기온에서 녹지지점 기온을 뺀 편차값을 종속변수로 하고, 혼합식재형의 면적, 체적, 단일식재형의 면적, 체적을 각각 독립변수로 하는 단순회귀분석을 실시한 결과, 혼합식재형에서는 R^2 값이 90% 이상이고, 유의확률이 5% 수준에서 의미가 있었다(Fig. 4-9). 반면에 단일식재형의 녹지는 산포도 결과와 같이 의미있는 결과를 얻을 수 없었다(Tab. 4-20).

Table 4-20. Simple linear regression result of $\Delta T_{NGP-SGP}$ with small green spaces' area and volume in single and mixed type

Type	X	Y($\Delta T_{NGP-SGP}$)(°C)	N	R ²	Sig.
Single	Area(m ²)	Y = 0.0014X + 1.4424	30	0.1212	0.058
	Volume(m ³)	Y = 0.0001X + 1.7281	30	0.0851	0.076
Mixed	Area(m ²)	Y = 0.0017X + 0.8529	15	0.9303	0.000
	Volume(m ³)	Y = 0.0003X + 0.4218	15	0.9184	0.000

혼합식재형의 녹지 위치는 블록내부에 위치하여 도로 등의 기온영향을 적게 받아 기온저감 효과를 설명하는데 용이하였으며, 그늘효과 외에도 증발산의 양이 동일규모의 단일식재형 보다는 다량일 것이므로 기온저감 효과도 높은 것으로 사료된다. 반면에 단일식재형에서는 녹지가 블록 내외부에 위치하되, 주로 건물 전면부인 가로와 도로가 만나는 지점일 경우가 많아 비교적 큰 규모를 갖더라도 블록 전체에서의 기온저감 효과를 설명하는데 있어 같은 규모에서도 기온편차값이 크게 나타난 것으로 판단된다.

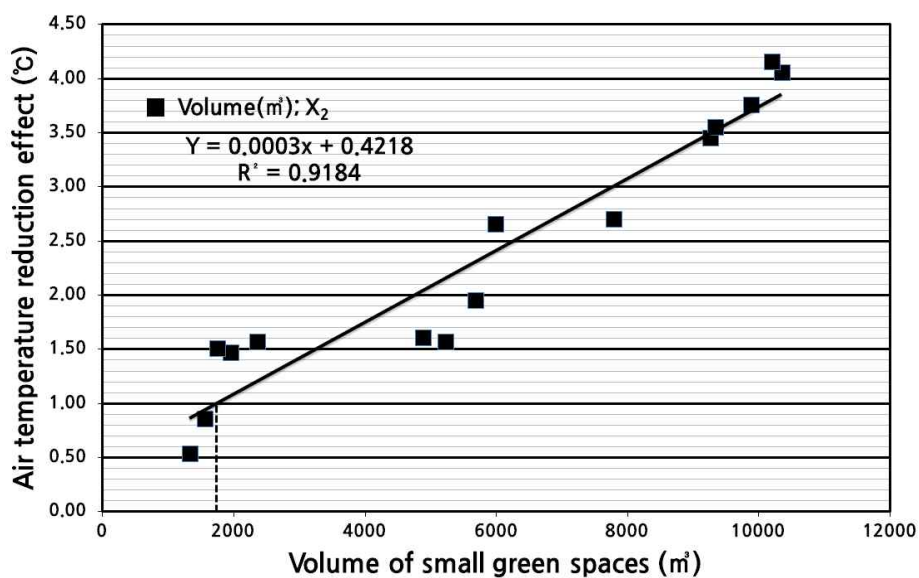
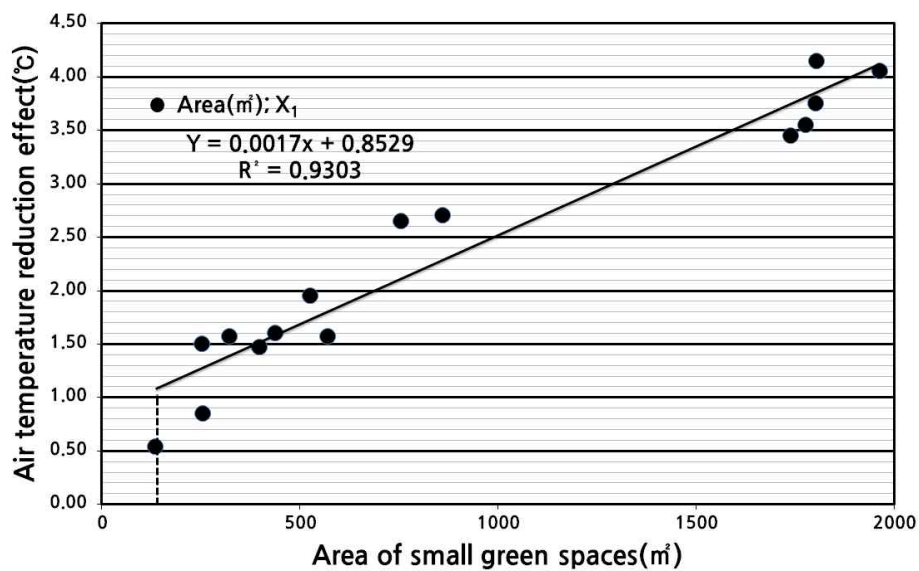


Figure 4-9. Mixed type of small green spaces' air temperature reduction effect by their area(upper) and volume(lower)

혼합식재형은 적어도 100~2,000m² 범위 이내에서는 그 면적이 증가할수록, 1,000~15,000m³ 범위 이내에서는 그 체적이 증가할수록 기온저감도 일어나고 있음을 알 수 있다.

4.4.4 소결

소규모 녹지가 규모나 유형에 따라 기온저감 효과를 보이는지 확인하기 위해서 블록별로 그 내부에 분포하는 소규모 녹지들에 대한 메타데이터들을 조사하고, 이를 수치화하여 45개의 유형과 규모가 복합화된 목록표를 작성할 수 있었다. 기온의 측정이 도보이동에 의해서 제한된 루트와 시간 이내에 측정되었기 때문에 블록 내 대부분의 소규모 녹지에 대한 기온정보를 수집하였으나 일부 누락된 녹지들도 포함되어 있다. 그러나, 누락된 녹지들의 규모는 대체로 전체 대상지의 소규모 녹지 규모에서도 작은 규모에 해당하였다.

상업과 업무 중심의 토지이용패턴을 보이는 미기후의 동질성을 감안할 때, 블록단위에서 소규모 녹지가 갖는 기온저감 범위인 0.4 ~ 4.2℃는 작은 녹지의 다양한 형태와 규모로 인하여 현재 도시에서 발생하고 있는 열섬저감 효과로 해석될 수 있겠다. 또한 비녹지가 녹지로 전환되게 되었을 때, 얻을 수 있는 기온저감의 효과로도 해석이 가능하다.

블록단위 기온저감 효과를 도모할 수 있는 소규모 녹지의 유형은 선형보다는 면형의 녹지에서, 단일식재형 보다는 혼합식재형이 유효한 것으로 나타났으며, 면적이나 체적이 증가할수록 기온저감 효과도 증가하되, 본 연구에서 분석한 범위인 면적 100~2,000m²과, 체적 1,000~15,000m³ 인 녹지에서는 그러하였다.

면형의 녹지는 그 독립된 수목보다는 여러 수목이 모여서 형성하게 되는 외형을 가리킨다. 이러한 면형의 녹지가 적어도 200m² 이상 조성되어 있을 때, 블록 내 최고기온을 나타내는 양지보다 1.0℃

이상 낮게 된다. 200m²라는 규모는 수관면적을 고려하였을 때, 수관 폭이 적어도 8m 이상되는 교목 5그루 이상이 형성하는 녹지일수도 있고, 하부식재대를 고려하였을 때는 가로 10m, 세로 20m 정도의 작은 녹지를 의미하게 된다. 이러한 녹지들은 현황(Appendix 1)에서도 밝힌 바대로, 가로녹지대나, 쌈지공원의 형태로 도시 속에서 분포하고 있다. 가로의 특성에 따라 다르지만, 가로폭이 비교적 넓거나, 건축물 전면의 공개공지에서 적용된 녹지들의 규모가 포함된다. 가로에서의 녹지를 통한 기온저감은 앞절의 블록별 지점분석에서도 언급했다시피, 다양한 기온상승요소의 영향으로 떨어질 수 밖에 없다. 그럼에도, 2열식재와 밀식하는 패턴, 그리고, 선형의 형태보다는 패치의 형태로 가로수를 식재하는 것이 열섬저감에는 보다 효율적일 수도 있다.

면형녹지의 체적이 적어도 2,000m³ 이상이어야 1.0℃ 정도의 블록단위 기온저감 효과를 갖는다는 의미는 이렇게 해석할 수 있다. 수고에서 지하고를 차감한 값인 수관높이가 5m 정도 되는 교목 5그루 이상이 다각형의 형태로 구성된다면 비슷한 토지이용패턴에서 녹지가 없으며, 건물그늘도 형성되지 않고, 건물외벽, 불투수포장 등으로부터의 방사열의 영향 때문에 기온이 최고조에 달하는 일사면보다 적어도 1.0℃가 낮음을 의미한다.

혼합식재형은 녹지는 교목과 관목이 다층구조를 이루고 있음을 의미한다. 블록단위에서 열섬이 가중된 일사면보다 적어도 1℃를 저감시키는 혼합식재형 녹지의 면적과 체적은 면형녹지의 경우와 거의 같게 나타났다. 이는 현황조사(Appendix 1)에서도 드러난 바와 같이, 도시에서 녹지의 조성은 관목과 교목이 어우러지는 다층식재로 구성되고, 토양으로 하부가 구성되며, 녹지의 중심에서 녹지 경계까지의 가장 긴 폭과 가장 짧은 폭의 차이가 작을수록 열섬저감 효과에 유효한 것으로 해석될 수 있겠다.

소규모 녹지를 조성함에 있어서 공개공지의 녹지는 건축법적 규제와 대지경계에 의하여 면형을 띠게 되고, 가로공원의 형태를 띠는 경우도 많아 다른 유형인 선형인 가로수보다는 열섬저감 대책으로서 더 유효할 수 있다. 미시적인 열섬저감 대책 요소로서 공개공지 녹지의 여러 유형과 규모를 본 연구의 대상으로 삼을 수 있었던 것은 건축법에서 조경면적을 법적으로 규제하여 꾸준히 조성되어 온 결과였다. 그러나 본 연구의 결과를 통해서 열섬저감을 위해서는 조경면적만을 규제하는 현 체제에서 체적과 유형도 고려하는 것이 바람직할 것으로 본다.

본 연구에서 블록 경계부에 위치하는 가로수가 가지는 기온저감 효과가 블록 내부의 녹지들과 비교하여 작은 것으로 나타났다. 이는 경계도로와 주변 블록들에서 지속적으로 미기후 영향을 받는 지역이 되므로 어찌면 당연한 결과로 해석될 수 있다(김해동과 한상주역, 2012). 일부 가로수 중에는 왜소하고, 생육도 좋지 않은 소나무들이 활용되고 있었으며, 과도한 전지로 인하여 수관이 거의 남아있지 않은 경우도 있었는데, 미관도 떨어질 뿐더러, 열섬저감요소로 작용하지 못하고 있었다. 반면에 2열로 조성된 가로수, 밀식된 가로수의 형태는 기온저감 효과에 유효하였다.

V. 결론

5.1 연구결과 요약

본 연구는 점차 도시재해로 인식될 만큼 여름철 마다 발생하고 있는 도시열섬에 대한 대책의 일환으로서 작은 도시공간 단위에서도 유연하게 적용할 수 있으며, 다양한 목적으로 활용되어 오던 소규모 녹지가 과연 미기후의 공간단위인 블록에서도 기온저감의 효과를 갖고 있는지를 규명하고, 그 최소한의 조성규모는 어떠한지 하는지를 제시하기 위해 진행되었다.

본 연구방법에서는 체계적인 대상지를 선정하고, 미시적인 공간에서의 반복적인 기온을 측정하며, 소규모 녹지가 갖는 블록단위에서의 효과를 분석하였다. 이를 위해서 서울시 중심의 시가화지역에 위치하고 있는 중구, 종로구를 선정하고, 내부의 블록들을 선정하되, 블록의 면적, 건축물의 점유면적, 건축물의 높이 등과 같은 미기후에 동질한 조건들을 가지면서도 블록 내 소규모 녹지들의 면적률의 차이가 있는 실험군과 대조군 각 1개씩을 그룹화 하여 3개의 블록그룹을 추출하였다. 도보이동 데이터로거 수집방식을 활용하여 두 블록을 여름 주간동안 동시에 반복측정을 하고, 이를 공간화하여 소규모 녹지효과를 분석하는데 활용하였다.

블록그룹의 실험군과 대조군을 비교한 결과, 전체적으로는 녹지율이 높은 블록의 전체기온이 1.0℃ 정도 낮은 것을 규명할 수 있었다. 단지 블록그룹 내 실험군과 대조군간의 비교에서는 블록그룹 A에서 그러한 경향이 뚜렷하지 않았다. 이는 블록그룹 A에서 녹지율이 높은 AE 보다 AC가 더 기온이 낮았던 1차 측정의 결과가 반영되었기 때문이다. 또한 블록 AE는 북측면에서의 녹지가 밀집분포되어있는 형태이며, 남측면은 건물그늘이 대다수를 차지하고 있어, 건물그늘의 영향이 컸던 AC 블록과 차이가 거의 없었던 것으

로 판단된다. 블록그룹 내 두 비교군의 기온차이가 녹지율 때문인지를 건물그늘지점, 양지지점, 녹지지점의 분류군으로 나누어 비교해 본 결과, 오히려 건물그늘보다 소규모 녹지지점의 기온이 낮게 나타났으며, 블록 내 최고기온과 비교해 봤을 때는 최대 4.9℃의 기온저감 효과를 보이는 것으로 나타났다.

블록단위에서는 각 기온측정지점 주변의 기온영향요소들과 소규모 녹지의 비교를 통해서 그 기온저감 효과를 규명하였다. 블록 전체에 걸쳐서 최저기온을 나타내는 지점에는 소규모 녹지가 분포하는 것이 발견되었다. 또한 이러한 지점들이 갖는 특징은 여타 기온저감요소가 없이 독립적으로 냉섬역할을 수행하는 공원형 녹지가 있으며, 건물그늘 및 주변 녹지와 근거리에 위치함으로써 기온저감의 상승효과가 발생하였음도 제시할 수 있었다.

면형과 혼합식재로 조성된 소규모 녹지가 그 규모에 따라 기온저감의 효과도 일정부분 증가하는 것을 밝혀냈다. 분석된 규모의 범위는 녹지면적 100~2,000㎡, 녹지체적 1,000~15,000㎥이며, 아울러 적어도 1.0℃ 이상의 기온저감효과를 얻기 위해서는 수관폭이 8m 교목 5그루 이상이 군식된 정도의 규모이거나 교목과 관목의 층위구조를 가지면서 하부가 포장이 아닌 토양이 노출되는 식생기반이어야 할 것으로 나타났다. 블록단위에서 최고기온은 나타내는 양지보다 적어도 1.0℃ 이상의 기온저감효과를 얻기 위해서는 면적 200㎡, 체적 2,000㎥ 이상의 녹지가 확보될 필요가 있는 것으로 나타났다.

5.2 연구의 한계 및 의의

연구의 한계로서 우선 지적될 수 있는 것은 대상블록의 케이스 숫자이다. 물론 대상블록을 선정하는 과정이 비교적 과학적 근거를 가지고 논리적으로 진행되어 미시적인 열섬현상을 대표하는 도시블록을 선정하였음에도, 평가한 블록의 케이스가 6개였으므로 통계적으로는 다소 낮은 의미를 가질 수도 있다.

아울러 기온데이터 수집방법에도 한계가 있었음도 언급되어야 할 것이다. 기온데이터가 수집된 지점들에서는 모든 블록내의 녹지가 포함된 것이 아니다. 1분 간격으로 이동측정방식에 따라 수집된 기온데이터이므로 적어도 기온이 수집된 지점의 시각에서 다음 기온 수집지점까지는 20~25m의 거리가 떨어져 있어 이 사이에 있는 녹지들의 기온값들은 수집하는 것이 불가능하였기 때문이다. 이러한 점은 개별적인 녹지로부터의 기온저감 영향에 대한 검토가 부족하게 하였다. 또한 열섬현상이 풍속이 4m/s 이하의 구름 없는 맑은 날이어야 가장 잘 관찰되므로 이러한 날짜를 미리 찾아내고, 그에 맞게 실험계획을 수립해야 하는 것이 현장연구의 어려움일 것이다.

이러한 연구의 한계에도 불구하고, 미시적인 스케일에서 분산 분포되어 있는 다양한 소규모 녹지의 기온데이터를 수집하는데 있어 도보이동측정방식은 비용적인 측면이나 연구 관리적인 측면에서 고정식 이동측정방식보다 매우 유용하였음은 연구의 의의로 우선 언급할 수 있다.

또한, 건축법에서 의무화된 조정면적이 적어도 도시가로를 이용하는 보행자들에게 일사에 의한 영향을 보다 줄일 수 있는 대책으로서 작용하고 있음을 본 연구를 통해서 발견하였다는 것도 의의라 할 만하다. 대상블록으로 설정된 실험구와 대조구는 재개발된 시가지지역과 기성시가화 지역으로도 분류될 수 있었다. 본 연구에서 실험구에 해당하는 소규모 녹지가 비교적 넓고도 다양하게 분포하

고 있는 블록들의 공통점은 지구단위로 재개발되면서 건축법에 의거한 조경면적을 준수함으로써 그에 상응하는 녹지를 조성하되 건물의 후면부보다는 도시가로와 맞닿는 전면부에 배치하게 되어 보행자에게 열적 쾌적성을 제공하여 왔다는 것도 발견할 수 있었다.

5.3 향후 연구

향후 연구에서는 다양한 규모를 갖는 대상지들을 파악하여 도시 공간의 형태적인 특성들을 유형화하고, 이러한 지역에서의 열섬대책을 세울 때 필요한 소규모 녹지가 규모와 유형도 다양하게 적용할 수 있는 연구들이 요구될 것이다.

이를 위해서는 보다 진보된 기술이 접목된 측정장비가 필요하며, 세밀하고, 정확하게 계획된 연구방법이 요구된다. 도시열섬 연구자들이 기후학에서도 도시기후학, 미시기후학을 발전시켜왔고, 그 해당 분야도 도시공간과의 접목을 통해서 건축공학자, 조경학자, 도시계획학자, 생태학자에 이르기까지 다양한 학문분야로 파급되고 있으므로 본 연구에서와 같이 현장측정에 기반을 둔 실험들이 계속 축적되어 나간다면 도시열섬을 줄이기 위한 도시 전체의 녹지량과 녹지배치계획 및 열섬저감량에 대한 예측도 멀지 않을 것이다.

끝으로 도시가로에서 연구를 수행 중 폭염이 심한 한낮에 공개공지로 조성된 소규모 녹지들이 갖는 인간의 열쾌적성과 건강에 대한 영향을 실내 냉방기와 비교하여 연구하는 것이 의미가 있을 것이라 제안해 본다. 폭염 피해에 취약한 고령자들이 실내의 차가운 공기보다 오히려 기온은 높지만 일사를 차단해주면서도 시원한 바람이 부는 나무 밑을 더 선호하고 있음을 현장조사 중에 발견할 수 있었다. 이는 최근 가속화되는 고령화 사회에서 적용할 수 있는 복지정책의 근거로 활용할 수 있을 것이다.

참고문헌

- Aguilar E, Auer I, Brunet M, Peterson TC, and Wieringa J. (2003). *Guidance on Metadata and Homogenization*. World Meteorological Organization : Geneva. WMO Technical Document No. 1186.
- Armson, D., P. Stringer, A.R. Ennos (2012), *The effect of tree shade and grass on surface and globe temperature in an urban area*, Urban Forestry & Urban Greening 11 : 245–255
- Bowler, Diana E., Lisette Buyung-Ali, Teri M. Knight and Andrew S. Pullin (2010), *Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence*, Landscape and Urban Planning Vol. 97, 147–55p.
- Ca, V. T., Asaeda, T., Abu, E. M. (1998), *Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park*, Energ. Buildings 29, 83–92p
- Givoni, B. (1991), *Impact of planted areas on urban environmental quality: a review*, Atmospheric Environment Vol. 25B, No. 3 : 289–99pp.
- Grimmond, M. Roth, T.R. Oke, Y.C. Au, M. Best, R. Betts, G. Carmichael, H. Cleugh, W. Dabberdt, R. Emmanuel, E. Freitas, K. Fortuniak, S. Hannal, P. Klein, L.S. Kalkstein, C.H. Liu, A. Nickson, D. Pearlmutter, D. Sailor and J. Voogt (2010), *Climate and more sustainable cities : Climate information for improved planning and management of cities*, Procedia Environmental Sciences Vol. 1: 247–274p.

- Kim Y. and Baik J. (2005), *Spatial and temporal structure of the urban heat island in Seoul*, Journal of Applied Meteorology, 44: 591–605
- Kalkstein, L. S., Scott C. Sheridan, Yang Ching Au (2008), *A new generation of heat health warning systems for Seoul and other major Korean cities*, 기상기술정책 Vol.1, No.1 62–8
- Landsberg, R.(1981), *The urban climate*, International geophysics series, ed. W. L. Donn, Vol. 28 : Academic Press, 275
- Memon, R. A., Dennis Y.C. Leung, and Liu Chunho (2008), *A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island*, Journal of Environment Sciences Vol.20 : 120–8p.
- Memon, R. A., Dennis Y.C. Leung, and Liu Chunho (2010), *Effects of building aspect ratio and wind speed on air temperatures in urban-like street canyons*, Building and Environment Vol. 45: 176–88p.
- Oke, T. R. (1987), *Boundary Layer Climates(2nd)*, Methuen: London.
- Oke, T. R. (1988), *Street Design and Urban Canopy Layer Climate*, Energy and Buildings, Vol. 11:103–13p.
- Oke T. R. (2004), *Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites*, IOM Report 81, World Meteorological Organization: Geneva.
- Oke T. R. (2006), *Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites*, World meteorological organization, Instruments and observing method report No. 81.

- Pont, M. B., and Per Haupt (2010), *Spacematrix : space, density and urban form*, NAI Publishers : Rotterdam.
- Santamouris, M. (1990), *Natural cooling techniques. in Proceedings of conference on passive cooling*, Ispra: EEC, DGXII
- Souch, C.A. and Souch, C. (1993), *The effect of trees on summertime below canopy urban climates : A case study Bloomington, Indiana*, Journal of Arboriculture Vol. 19(5): 303–12p.
- Stewart, I. D. (2011), *A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature*, International journal of climatology Vol. 31: 200–217p.
- Stewart, I. D. and T. R. Oke (2009), *Newly developed ‘Thermal Climate Zones’ for defining and measuring heat island magnitude in the canopy layer*, Reprints, T. R Oke symposium and Eight symposium on urban Environment, January 11–15, Phoenix, AZ.
- Streiling, S. and Matzarakis, A. (2003), *Influence of single and small clusters of trees on the bioclimate of a city : A case study*, Journal of Arboriculture 29(6) : 309–16p.
- Taha, H., H. Akbari, and A. Rosenfeld (1991), *Heat Island and Oasis Effects of Vegetative Canopies: Micro–Meteorological Field–Measurements*, Theoretical and Applied Climatology, Vol. 44, 123–138p.
- Voogt, J. A. and T. R. Oke (2003), *Thermal remote sensing of urban climates*, Remote Sensing of Environment 86:370–384p.
- 環境省 (2002), ヒートアイランド対策手法調査検討業務報告書

- 環境省 (2009), ヒートアイランド対策手法調査検討業務報告書
- 油井正昭 (1968), 造園植栽地の緑量に関する基礎的研究, 千葉大学園芸学部学術報告
- 권영상 (2004), Landsat ETM+ 영상자료를 이용한 하천의 도시기온 저감효과 측정에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문
- 권영아 (2002), 서울의 도심녹지가 주변기온에 미치는 영향, 건국대학교 대학원 박사학위논문
- 권영아, 이현영 (2003), 토지이용 유형에 따른 기온 특성-서울시 자동차상관측지점 주변을 사례로-, 환경영향평가, 12(4) : 281-290p
- 김수봉, 나정화, 정우호 (2006), 『친환경적 도시계획 : 도시열섬연구』, 서울:문운당
- 김남신 (2005), 『GIS 실습: 아크뷰를 활용한 지도 제작과 공간 분석』, 파주:한울
- 노형진 (2006), 『SPSS에 의한 조사방법 및 통계분석』, 서울:형설출판사
- 김해동, 한상주 역 (2012), 『도시열섬 대책과 기술』, 모리야마 마사카즈 외, 서울:푸른길
- 명수정 (2009), 도시지역의 기후변화 적응을 위한 열섬현상 완화방안 연구, 환경정책평가연구원 기초연구 2009-08
- 문수영 (2011), 아파트단지 녹지배치 유형별 온도저감 효과 연구, 서울대학교 대학원 공학박사학위논문
- 박인환, 장갑수, 김종용, 박종화, 서동조 (2000), 대도시에 있어 냉섬의 유형별 온도완화효과 - 대구광역시의 사례 연구 - 한국조경학회지 Vol. 28 No. 1. 11-18p
- 박종훈, 허근영, 신현철, 박남창, 최경옥 (2011), 국내 옥상녹화와 관련한 국내외 법제도 사례 및 개선방향 분석, J. Korean Soc. People Plants Environ., 14(5): 307-14p

- 방재성 (2013), 미국 지방자치단체 도시열섬완화 대책의 계획적 특성, 대한건축학회논문집 계획계, 29(4) : 79-90p
- 서울통계(<http://stat.seoul.go.kr>)
- 서울특별시 (2005), 『서울 2005 도시생태현황도』, 서울:서울시정개발연구원
- 서응철 (2007), 도시열섬 완화를 위한 제도개선, 한국생태환경건축학회논문집, 7(2) : 17-23p
- 안지숙, 김해동, 홍정혜 (2002), 대구지역 인공열의 시공간적 분포 추정에 관한 연구, 한국환경과학회지, 11(10) : 1045-54p
- 오규식, 정승현 (2011), 『GIS와 도시분석』, 파주:한울
- 오규식, 홍재주 (2005), 도시공간 구성요소와 도시열섬현상의 관련성 연구, 한국도시설계학회지, 6(1) : 47-63p
- 윤민호 (2009), 원격탐사를 활용한 녹지가 도시기온에 미치는 영향 연구-서울시를 대상으로-. 서울대학교 대학원 석사학위논문
- 윤민호, 안동만 (2009), 위성영상을 이용한 도시녹지의 기온저감 효과분석, 한국조경학회지, 37(3) : 46-53p
- 윤용한, 박봉주, 김원태, 박선영 (2008), 공원녹지의 토지피복비율과 기온간의 요인분석, 한국환경과학회지 17(5) : 485-91p
- 윤용한, 주창훈, 김정호(2011), 생체기후도를 이용한 비오톱 유형별 환경 쾌적성 증진 방안 연구, 한국지역개발학회지, 23(3) : 39-58p
- 윤용한(2004), 도시녹지가 미기상조절에 미치는 실증적 연구, Korean Journal of Environmental Biology 22(2) : 279-89p.
- 이광호, 정인숙 (2002), 전주시역에서의 도시열섬에 대한 연구, Journal of Science Education Chonbuk National University, Vol.27, 1~7p

이종범, 김용국, 김태우 (1993), 춘천지역 도시열섬의 특성과 대기
 질에 미치는 영향, 한국대기보전학회지, 9(4) : 303~9p

장재연 등 (2008), 기후변화에 따른 건강피해 모니터링 및 위험인
 구 감소전략 개발에 관한 연구, 보건복지가족부

조성모, 윤용한, 류을렬, 박봉주, 김원태 (2009), 도시 내 용도지역
 의 토지피복형태가 열섬현상에 미치는 영향, 한국환경과
 학회지, 18(2) : 169-176p

조성모, 윤용한, 류을렬, 박봉주, 김원태, 박준석, 김승태, 송태갑
 (2007), 도시의 토지이용형태가 기상환경에 미치는 영향,
 한국녹지환경디자인학회지 3(3) : 1~5p

조현길, 안태원 (2009), 도시기온에 작용하는 입체적 토지피복의 영
 향, 한국조경학회지, 37(3) : 54-80p

조용현, 조현길, 한봉호(2010), 서울시 환경영향평가에서 가로 녹시
 율 지표의 적용 실태, 환경영향평가, 19(2) : 205-13p

조현길, 안태원(2010), 열쾌적성과 에너지절약을 위한 녹지계획 전
 략, 한국조경학회지, 38(3) : 23-32p

진병화, 변희룡 (2000), 녹지대 분포가 도시지역의 소기후에 미치는
 영향, 한국환경과학회지, 9(2) : 101~8p

채서일 (2005), 『사회과학조사방법론(3판)』, 서울:비엔앰 북스

최영수 (2009), 기후변화와 녹색도시 ; 서울 C40 정상회의 실천적
 방안 마련, 도시문제, 44(487) : 28-33p.

Appendix 1. 블록별 소규모 녹지 개요

(1) 블록 AE와 소규모 녹지의 개요



AX-Figure 1. Survey map of block AE

note) Corrected area is the polygon with dotted line in the left side

블록 내 존재하고 있는 소규모 녹지들의 기존현황에서는 가로수에 대한 point데이터만 있었으므로 현황조사를 통해서 자료를 신규로 추가하였다. AE 블록의 경우 소규모 녹지의 분포는 가로수가 블록의 외연부에 해당하는 보행가로에 배치되어 있었다. 수종은 플라타너스와 은행나무가 주를 이루고, 개별 가로수의 지면부는 석재포장 및 1m 격자의 수목보호판으로 구성되며, 대체로 1열 배치를 하고 있으나 덕수궁과 인접한 가로에서는 2열 배치된 형태를 취하고 있었다(AX-Fig. 2).

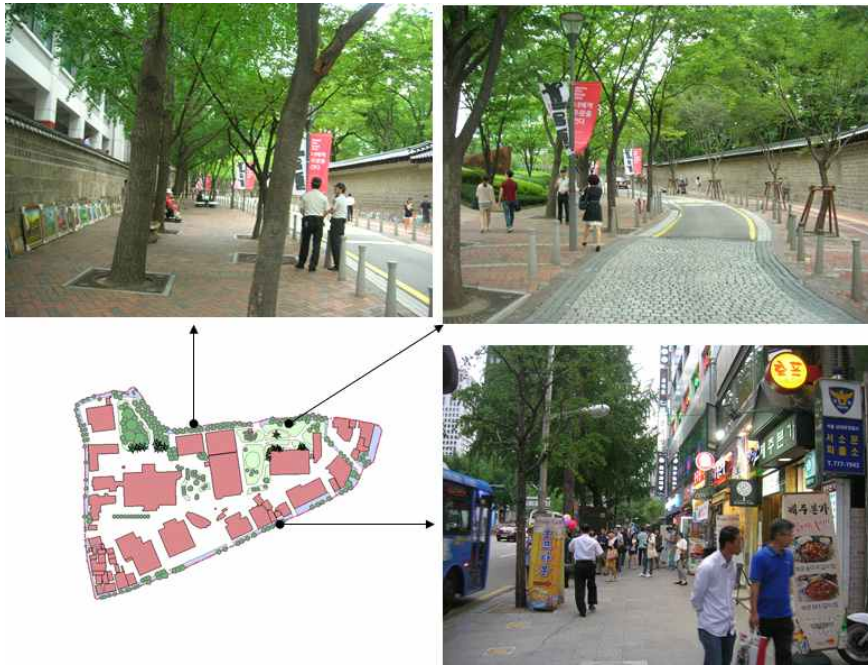
AE 블록 내 비교적 큰 자투리형 녹지는 AX-Fig. 2상에서 5-6번 및 2번으로 표시된 공공녹지로서 5-6번 녹지의 경우 면적은 2,159m²이며, 교목부터 관목에 이르기까지 다층구조의 형태와 지면부는 토양으로 구성되어 있었으며, 또한 2번 녹지의 경우는 교목보

다는 관목형의 식재로 구성되어 있었다(AX-Fig. 2). 비교적 작은 면적의 녹지로는 AX-Fig. 3상에서 3번과 4번이었으며, 3번 녹지는 느티나무 7개소로 이루어져 있었으며, 바닥면은 석재포장과 4각형의 수목보호판으로 구성되어 있었다. 4번 녹지는 중앙소광장을 중심으로 하고 주변부에 교목과 관목들을 배치한 형태를 가지고 있었다(AX-Fig. 3). 가로수와 자투리형 녹지들을 수관밀도에 영향을 주는 잎의 형태(활엽 혹은 침엽), 수종(교목 혹은 관목)으로 분류해 보았을 때, 전체 녹지면적은 12,000m² 정도로 나타났으며, 관목의 점유면적은 50%를 넘게 차지하고 있으며, 자투리형 녹지의 활엽교목류가 26%, 가로수형 녹지의 활엽교목류가 19%를 점유하고 있었다(AX-Tab. 1).

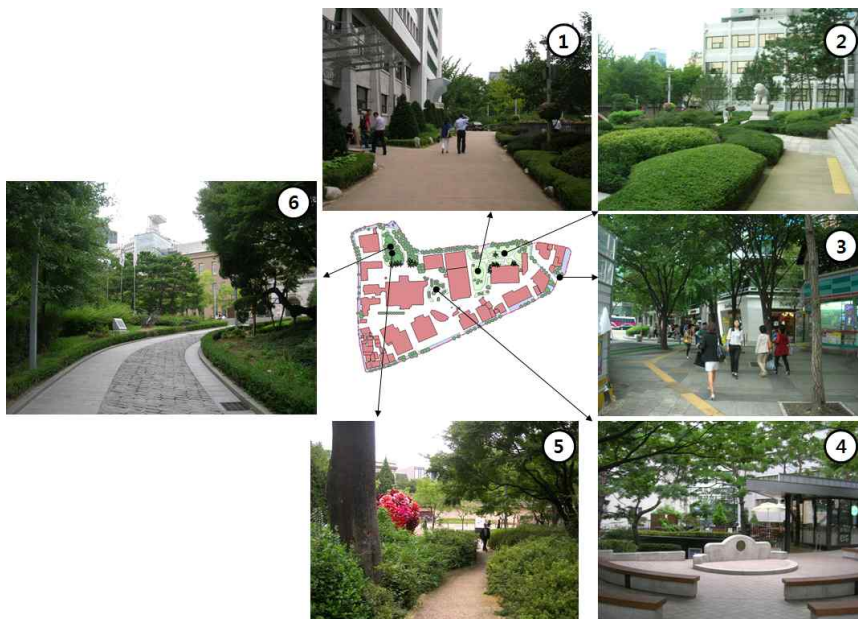
AX-Table 1. Characteristic of small green areas in block AE

Name	Classification			Number	Sum of area(m ²) (frequency%)	Averaged area(m ²)
	1	2	3			
SBT	Street	Broad	Tall	137	2,323.93(19)	16.96
SCT	Street	Coniferous	Tall	1	0.00(0)	0.00
PBT	Plot	Broad	Tall	138	3,157.71(26)	22.88
PCT	Plot	Coniferous	Tall	25	386.80(3)	15.47
PB	Plot	-	Bush	18*	6,150.33(51)	341.68
Total					12,018.77(100)	

note) * is not a number of bushes but bushes' zone

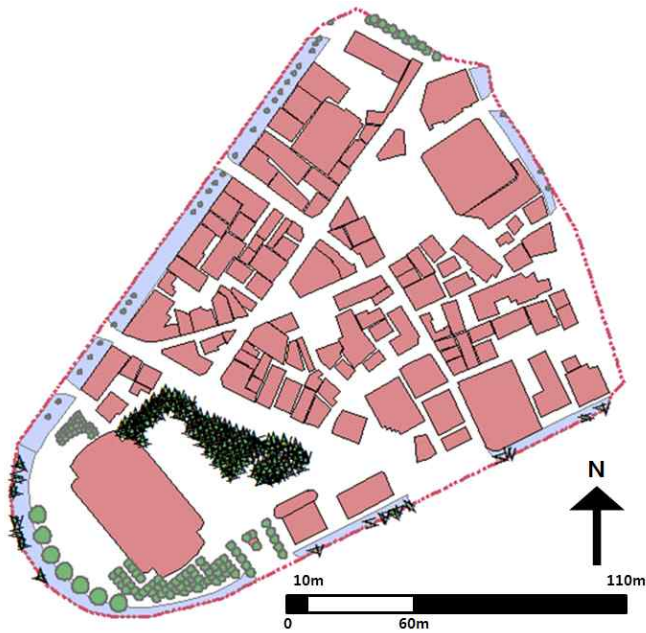


AX-Figure 2. Street trees in block AE



AX-Figure 3. Public and Semi-Public green spaces in block AE

(2) 블록 AC와 소규모 녹지의 개요



AX-Figure 4. Survey map of block AC

가로수는 블록의 외연부에 해당하는 보행가로에 배치되어 있었으나 그 분포에 있어서 AX-Fig. 5의 1번, 2번과 같이 좌측 상단부 가로를 중심으로 은행나무가 위치하고 있으며, 다른 가로에서 가로수는 빈도가 상대적으로 낮으며, AX-Fig. 5의 5번-6번과 같이 남측 가로수의 경우에는 소나무가 식재되어 있었다. Fig. 4-6의 3번, 4번과 같이 은행나무 대교목이 가로수의 형태로 배치되어 있는 경우도 있었다. 가로수 하부의 바탕은 석재포장 및 1m 격자의 수목보호판으로 이루어져 있었다(AX-Fig. 5).

AC블록 내 자투리 녹지들은 대부분 공공녹지가 아닌 공개녹지로서 존재하고 있었다. 녹지 면적에 있어서 상대적으로 큰 규모를 가진 녹지들은 AX-Fig. 6 상의 4번 녹지와 2번-3번 녹지였다. 4번

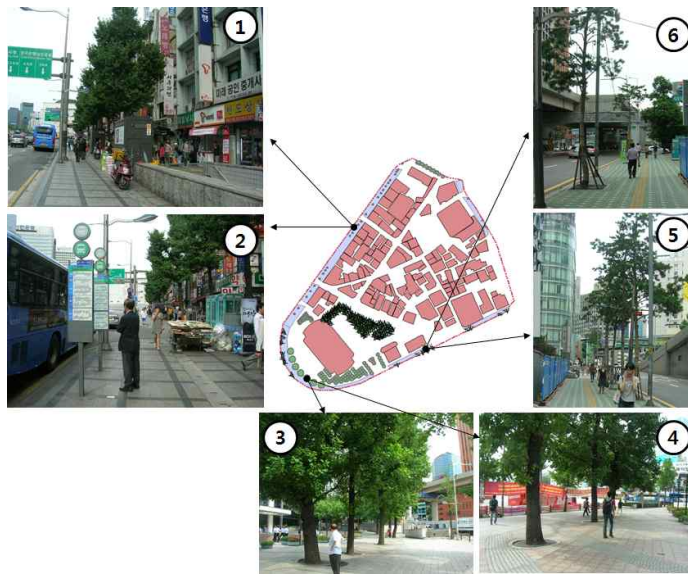
녹지의 경우 소나무와 하부 철쭉으로 이루어진 녹지로서 그 면적은 1,100m² 정도이며, 필지경계부가 인근소로보다 3m 정도 높은 형태를 취하고 있었다. 2번-3번에 해당하는 녹지는 은행나무와 철쭉수가 격자형의 구조를 가지고, 배치되어 있는 공개공지 녹지로서 그 면적은 800m² 정도이며, 바닥면의 포장은 석재 및 원형 수목보호판으로 구성되어 있었다. 작은 면적의 녹지로서 AX-Fig. 6 상의 5번과 1번이 해당되며, 5번은 교목(은행나무)로 이루어진 선형녹지(36m), 1번은 다층구조로 이루어진 점녹지(133m²)의 형태를 띠고 있었다.

AX-Table 2. Characteristic of small green areas in block AC

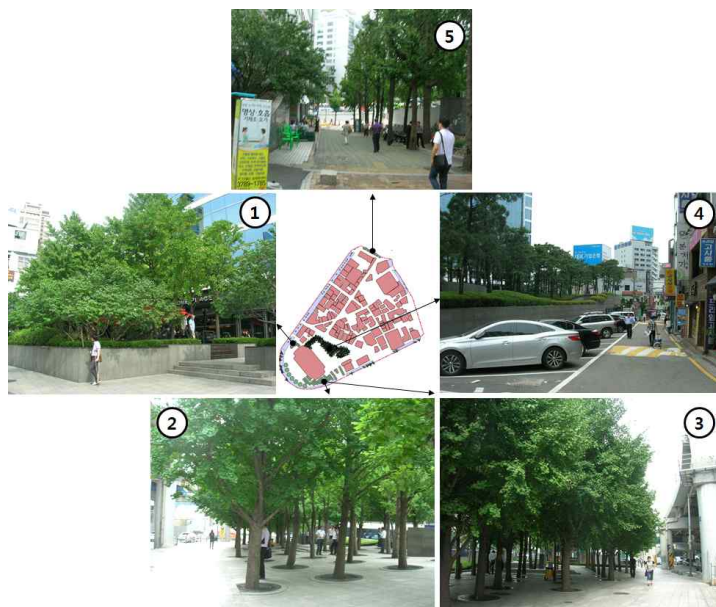
Name	Classification			Number	Sum of area(m ²) (frequency%)	Averaged area(m ²)
	1	2	3			
SBT	Street	Broad	Tall	66	815.80(20)	12.36
SCT	Street	Coniferous	Tall	17	80.49(2)	4.73
PBT	Plot	Broad	Tall	91	877.53(22)	9.64
PCT	Plot	Coniferous	Tall	142	998.65(25)	7.03
PB	Plot	-	Bush	5*	1,236.82(31)	247.36
Total					4,009.28(100)	

note) * is not a number of bushes but bushes' zone

가로수와 자투리형 녹지들을 수관밀도에 영향을 주는 잎의 형태(활엽 혹은 침엽), 수종(교목 혹은 관목)으로 분류해 보았을 때, 전체 녹지면적은 블록 AE의 1/3 정도인 4,000m² 정도로 나타났으며, 관목의 점유면적은 30%, 자투리형 녹지의 침엽교목류가 25%, 활엽교목류가 22%, 가로수형 녹지의 활엽교목류가 20%를 점유하고 있었다(AX-Tab. 2).

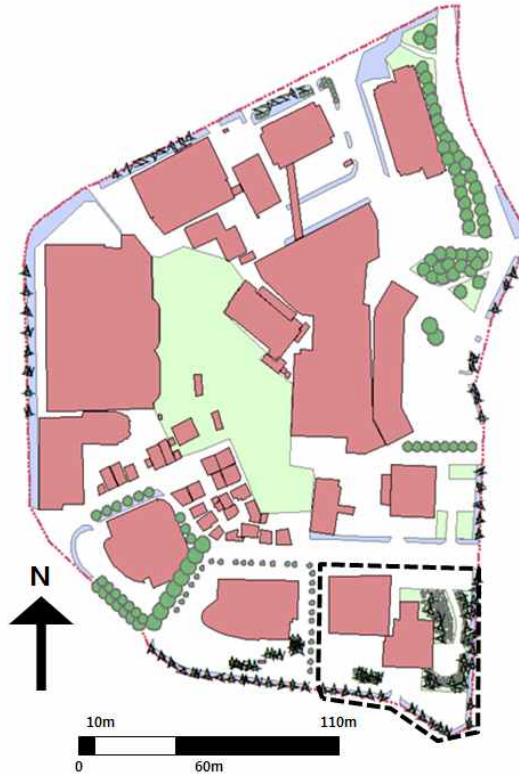


AX-Figure 5. Street trees in block AC



AX-Figure 6. Semi-Public green spaces in block AC

(3) 블록 BE와 소규모녹지의 개요



AX-Figure 7. Survey map of block BE

note) Corrected area is the polygon with dotted line in the lower-right corner

가로수는 블록의 외연부에 해당하는 보행가로에 배치되어 있었으며, 수종은 대부분 교목인 소나무 단일식재였으며, 1열 식재로 나타났다. 일부는 AX-Fig. 8의 3번과 같이 하부에 관목이 배치되어 있는 경우도 있었다. 가로수의 바닥면은 가로 폭이 비교적 넓으며 (2.5m) 석재포장인 경우(AX-Fig. 8의 1번, 2번, 3번)와 가로 폭이 좁으며(1.5m) 고압블록포장인 경우(AX-Fig. 8의 4번, 5번)로 분류할 수 있었으며, 두 형태의 가로수 모두 수목보호환과 함께 이루어져 있었다.

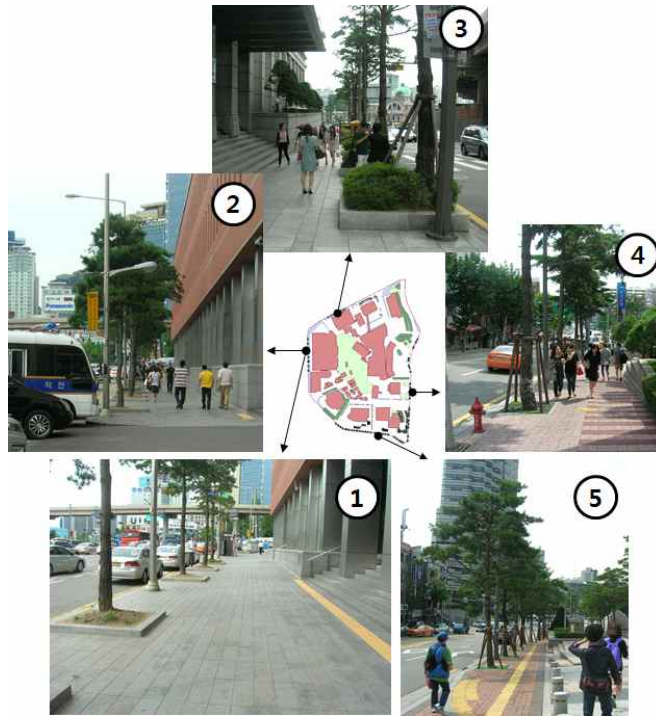
자투리 녹지들은 대부분 공공녹지가 아닌 공개공지의 녹지로서 존재하고 있었다. 녹지 면적에 있어서 상대적으로 큰 규모를 가진 녹지들은 AX-Fig. 9상의 2-3번의 선형녹지(면적 1,600m², 길이 110m)와 5-6번의 공개공지녹지(1,300m²)였는데, 2-3번의 선형녹지는 칠엽수, 느티나무 등의 교목식재와 함께 하부는 철쭉, 개나리 등의 관목, 토양층으로 구성되어 있었으며, 5-6번의 녹지는 소나무류의 교목과 단풍, 주목 등의 아교목 및 철쭉류의 관목 등이 다층구조로 이루어져 있었고, 하부는 토양이었다(AX-Fig. 9). 규모가 작은 녹지들로서는 AX-Fig. 9상의 1번, 8번, 7번으로서 1번의 경우 칠엽수, 소나무 등의 교목 일부와 침엽 및 활엽관목으로 식재되었고, 하부는 토양으로 구성되어 있었다. 8번의 경우 가로주변의 식재 형태를 띄면서 2열배치의 교목과 일부 플랜터에 관목이 배치되어 있었다. 7번의 경우에는 소로(3m)를 중심으로 좌측에는 소나무, 우측에는 은행나무가 식재되어 선형녹지를 이루고 있었다.

가로수와 자투리형 녹지들을 수관밀도에 영향을 주는 잎의 형태(활엽 혹은 침엽), 수종(교목 혹은 관목)으로 분류해 보았을 때, 전체 녹지면적은 10,500m² 정도로 나타났으며, 관목의 점유면적은 46%, 자투리형 녹지의 활엽교목류가 31%, 가로수형 녹지의 활엽교목류가 15%를 점유하고 있었다(AX-Tab. 3).

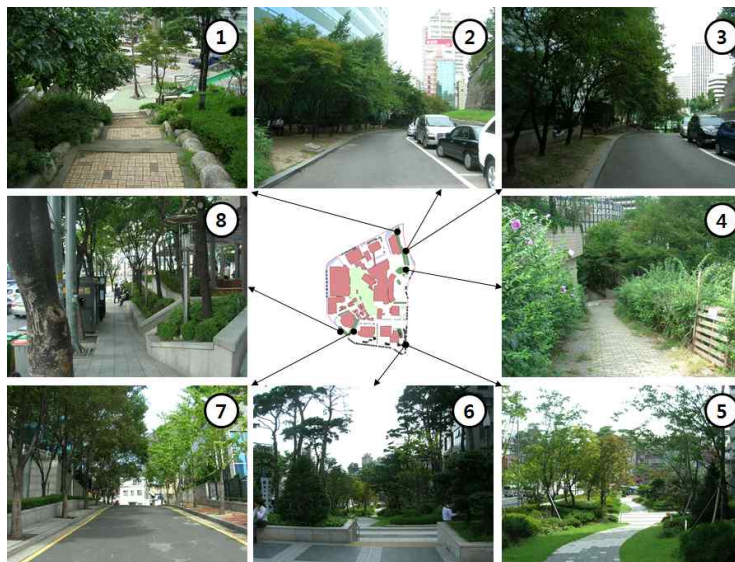
AX-Table 3. Characteristic of small green areas in block BE

Name	Classification			Number	Sum of area(m ²) (frequency%)	Averaged area(m ²)
	1	2	3			
SBT	Street	Broad	Tall	58	1,615.19(15)	27.85
SCT	Street	Coniferous	Tall	75	468.85(4)	6.25
PBT	Plot	Broad	Tall	181	3,255.38(31)	17.99
PCT	Plot	Coniferous	Tall	38	267.24(3)	7.03
PB	Plot	-	Bush	11	4,851.00(46)	441.00
Total					1,0457.66(100)	

note) * is not a number of bushes but bushes' zone

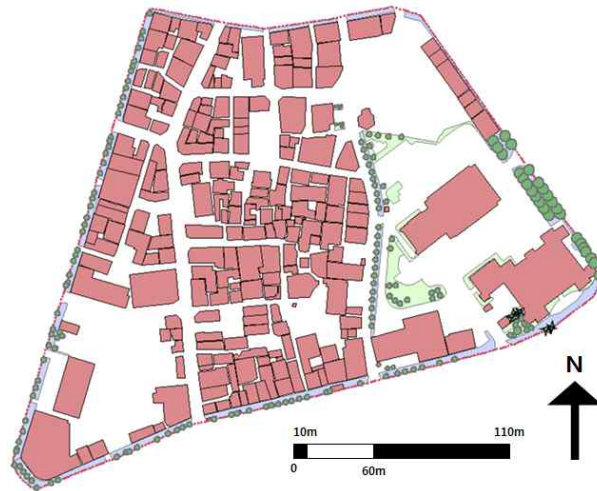


AX-Figure 8. Street trees in block BE



AX-Figure 9. Semi-Public green spaces in block BE

(4) 블록 BC와 소규모녹지의 개요



AX-Figure 10. Survey map of block BC

가로수는 블록의 외연부에 해당하는 보행가로에 배치되어 있었으며, 수종은 대부분 교목인 은행나무 단일식재였으며, 1열 식재로 나타났다. 가로수의 바닥면은 가로 폭이 비교적 넓으며(5m) 석재포장인 경우(AX-Fig. 11의 1번)와 고압블록포장인 경우(AX-Fig. 11의 3번)가 있었으며, 가로 폭이 비교적 좁으며(2.5m) 타일포장인 경우(AX-Fig. 11의 3번)가 있었다. BC 블록 내 모든 가로수 바닥면은 수목보호판이 공통으로 적용되어 있었다.

자투리 녹지들은 대부분 공공녹지가 아닌 공개공지의 녹지로서 존재하고 있었다. 녹지 면적에 있어서 상대적으로 큰 규모를 가진 녹지는 AX-Fig. 12상의 2-3번 선형녹지(면적 600㎡, 길이 50m)였으며, 은행나무 교목 2열배치(열 간격 11m)의 형태를 띠고, 12m 폭의 타일바닥면에 배치되어 있었다. 비교적 작은 녹지는 AX-Fig. 12상의 1번 점녹지(면적 188㎡)로서 교목과 관목의 다층구조를 이루고 있었다.

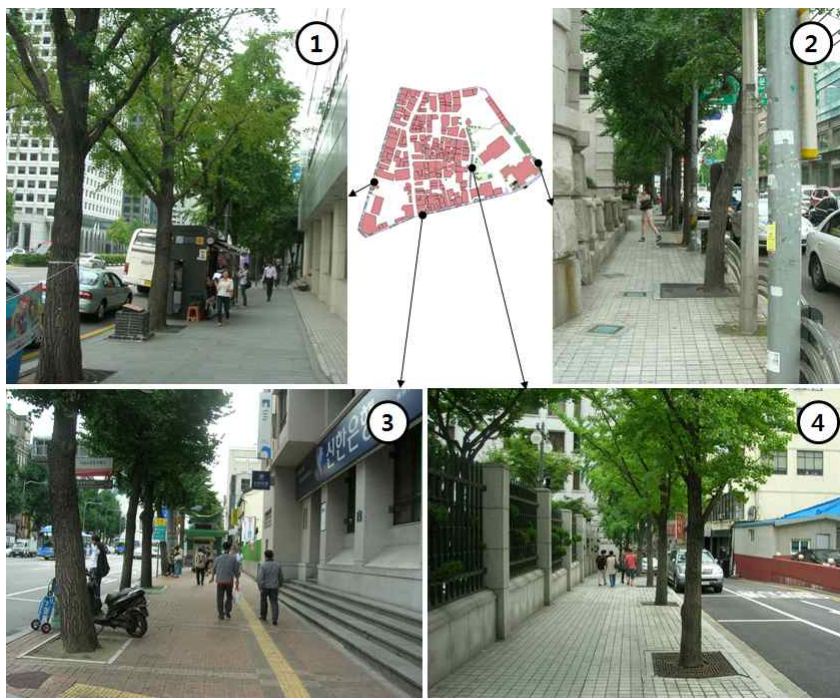
가로수와 자투리형 녹지들을 수관밀도에 영향을 주는 잎의 형태

(활엽 혹은 침엽), 수종(교목 혹은 관목)으로 분류해 보았을 때, 전체 녹지면적은 5,800㎡ 정도로 BE 블록의 50% 정도의 규모였으며, 관목의 점유면적은 44%, 가로수형 녹지의 활엽교목류가 47%로 대부분을 차지하고 있었다(AX-Tab. 4).

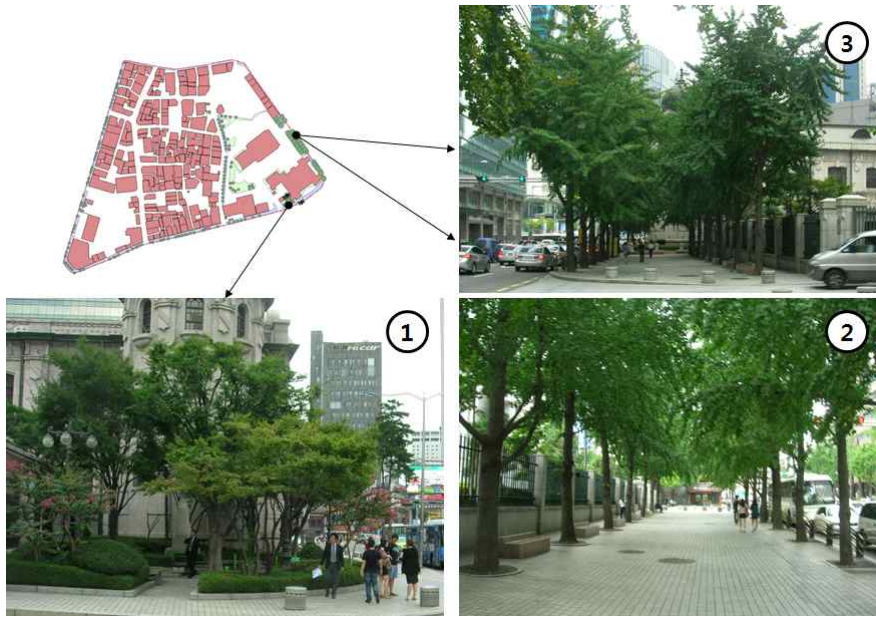
AX-Table 4. Characteristic of small green areas in block BC

Name	Classification			Number	Sum of area(㎡) (frequency%)	Averaged area(㎡)
	1	2	3			
SBT	Street	Broad	Tall	135	2,700.58(47)	20.00
SCT	Street	Coniferous	Tall	2	25.01(0.4)	12.50
PBT	Plot	Broad	Tall	45	486.82(8)	10.82
PCT	Plot	Coniferous	Tall	5	62.5(1)	12.50
PB	Plot	-	Bush	14	2,525.61(44)	180.40
Total					5,800.52(100)	

note) * is not a number of bushes but bushes' zone



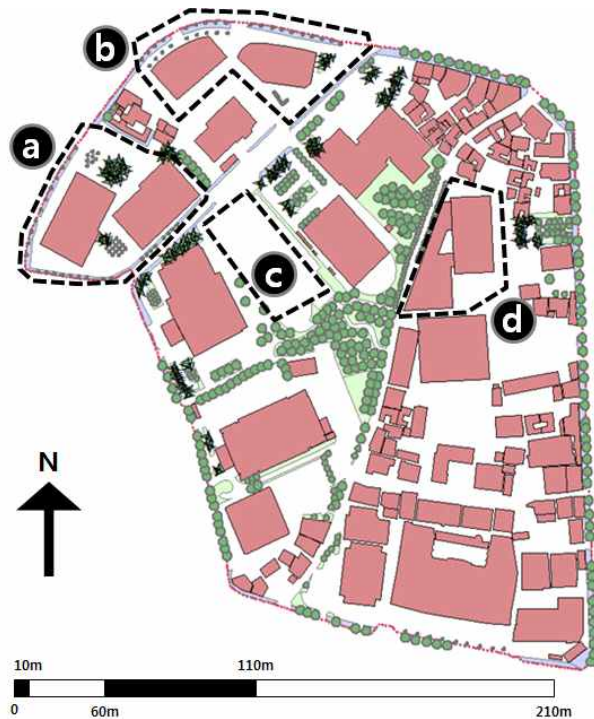
AX-Figure 11. Street trees in block BC



AX-Figure 12. Semi-Public green spaces in block BC

(5) 블록 CE와 소규모녹지 개요

블록 CE의 현황을 조사하여 기존자료에 삽입한 후 맵핑하였다 (AX-Fig. 13). 건물과 포장에서 기존현황과 다르다고 판단된 곳은 4개의 지구였다(AX-Fig. 13의 a, b, c, d). a, b, c지구의 경우에는 신축된 건축물로서 건물의 형태, 위치, 층수 등을 현황조사한 후 적용하였다. d지구의 경우에는 본래 건축물이 있었으나 현재는 재개발을 위해서 기존건물이 철거되고, 바닥면 토목공사가 진행 중이므로 기존자료에서의 건축물을 삭제하였다. 블록 내 존재하고 있는 소규모 녹지들의 기존현황에서는 가로수에 대한 point데이터만 있었으므로 현황조사를 통해서 자료를 신규로 추가하였다(AX-Fig. 13).



AX-Figure 13. Survey map of target block CE

가로수는 블록의 외연부에 해당하는 보행가로에 배치되어 있었으며, 수종은 대부분 교목인 은행나무 단일식재였으며, 1열 식재로 나타났다. 가로수의 바닥면은 가로 폭이 비교적 넓으며(5m) 식재포장인 경우(AX-Fig. 14의 2, 7번)과 고압블록포장인 경우(AX-Fig. 14의 1, 3번)가 있었으며, 가로 폭이 비교적 좁으며(3m) 식재포장인 경우(AX-Fig. 14의 4, 6, 7번)과 고압블록포장인 경우(AX-Fig. 14의 5, 8번)가 있었다. 일부 구간에는 하단부에 폭 1m의 관목식재대가 형성되어 있었으나(AX-Fig. 14의 3, 5, 7, 8번) 대체로 블록 내 모든 가로수 바닥면은 포장면에 수목보호판이 공통으로 적용되어 있었다.

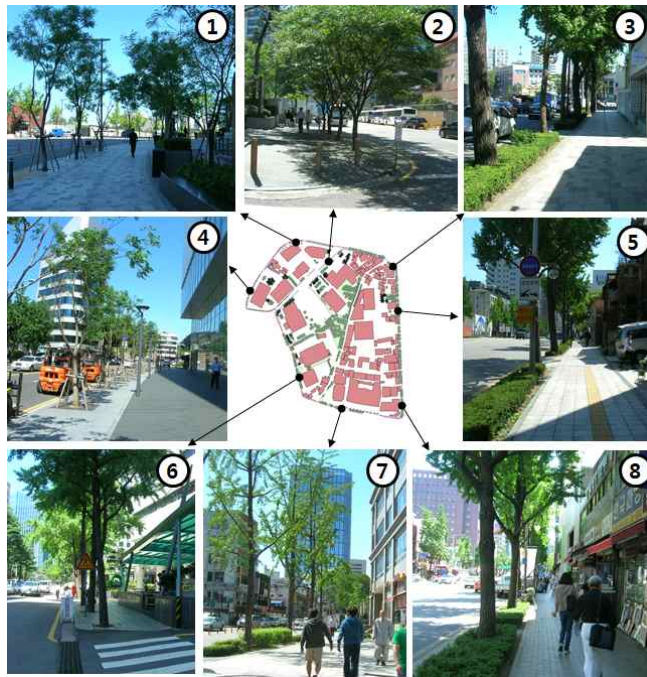
CE 블록 내 자투리 녹지들은 AX-Fig. 15의 7번 녹지가 공원임

을 제외하면, 대부분 공공녹지가 아닌 공개공지의 녹지로서 존재하고 있었다. 녹지 면적에 있어서 상대적으로 큰 규모를 가진 녹지들은 AX-Fig. 15의 6번(1,738㎡), 7번(1,056㎡), 8번(1,774㎡)이었는데, 7번 녹지가 교목과 관목 등의 다층구조로서 일반적인 공원의 식재구조를 가진 점을 제외하면, 6번의 경우는 플랜터에 의한 교목과 관목의 혼합구조, 7번의 경우에는 일부 교목과 선형의 관목들을 중심으로 배치되어 있었다. 작은 녹지들은 1번(256㎡), 2번(481㎡), 3번(66㎡), 4번(482㎡), 5번(191㎡), 9번(273㎡) 등으로 나타났다. 3번과 9번은 7번 녹지와 연계가 되는 느티나무가 식재된 선형녹지였다.

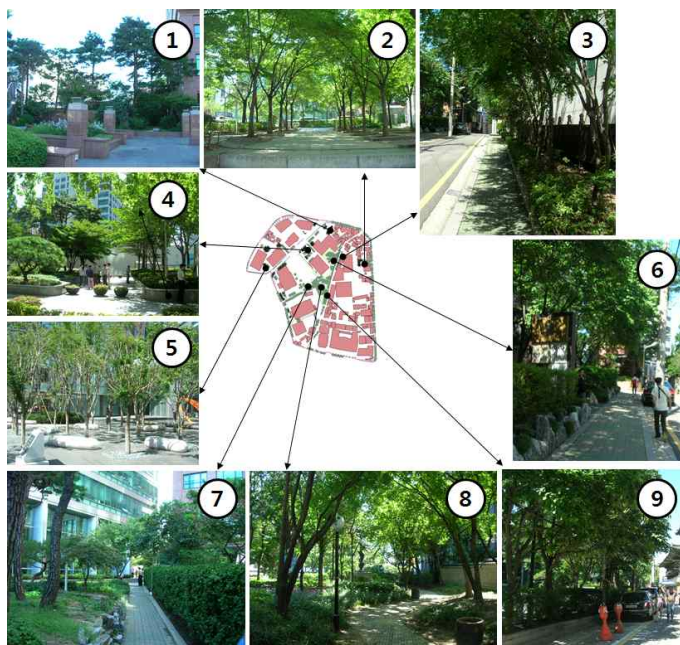
가로수와 자투리형 녹지들을 수관밀도에 영향을 주는 잎의 형태(활엽 혹은 침엽), 수종(교목 혹은 관목)으로 분류해 보았을 때, 전체 녹지면적은 19,000㎡ 정도의 규모였으며, 관목의 점유면적은 44%, 자투리형 녹지의 활엽교목류가 25%, 가로수형 녹지의 활엽교목류가 21%를 차지하고 있었다(AX-Tab. 5).

AX-Table 5. Characteristic of small green areas in block CE

Name	Classification			Number	Sum of area(㎡) (frequency%)	Averaged area(㎡)
	1	2	3			
SBT	Street	Broad	Tall	235	3,860.60(21)	16.43
SCT	Street	Coniferous	Tall	129	674.36(4)	5.23
PBT	Plot	Broad	Tall	265	4,760.39(25)	17.96
PCT	Plot	Coniferous	Tall	84	1,152.25(6)	13.72
PB	Plot	-	Bush	40	8,306.07(44)	207.65
Total					18,753.67(100)	

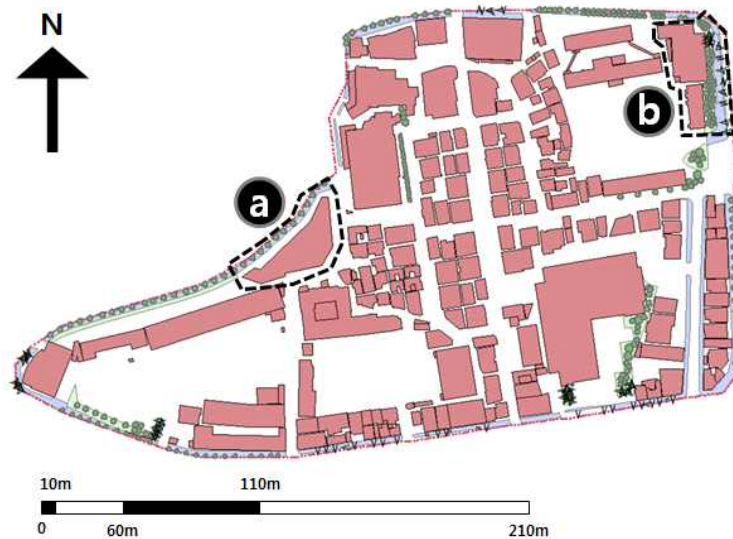


AX-Figure 14. Street trees in block CE



AX-Figure 15. Semi-Public green spaces in CE

(6) 블록 CC와 소규모녹지 개요



AX-Figure 16. Survey map of block CC

CC 블록 내 가로수는 블록의 외연부에 해당하는 보행가로에 배치되어 있었으며, 대표적인 수종은 소나무와 은행나무, 느티나무 등으로서 구간에 따라 다소 차이를 보이고 있었다(AX-Fig. 17).

AX-Fig. 17상의 4번(가로폭 2.5m), 5번(가로폭 4m), 6번(가로폭 2m)의 경우 느티나무 단일 1열 식재구간이며, 고압블록포장 및 수목보호판이 바닥면을 이루고 있었으며, AX-Fig. 17상의 1번(가로폭 5m), 2번(2m), 3번(3m)의 경우 은행나무 식재구간으로서 고압블록포장 및 수목보호판이 바닥면을 이루고 있었다. 특히 3번에서는 가로폭이 비교적 좁으나 은행나무 2열 식재를 보이고 있었다. Fig. 4-19상의 7번(4m), 8번(5m) 구간에서는 소나무 1열 식재가주를 이루고 있었으며, 수관이 제대로 형성되지 않고 있었다.

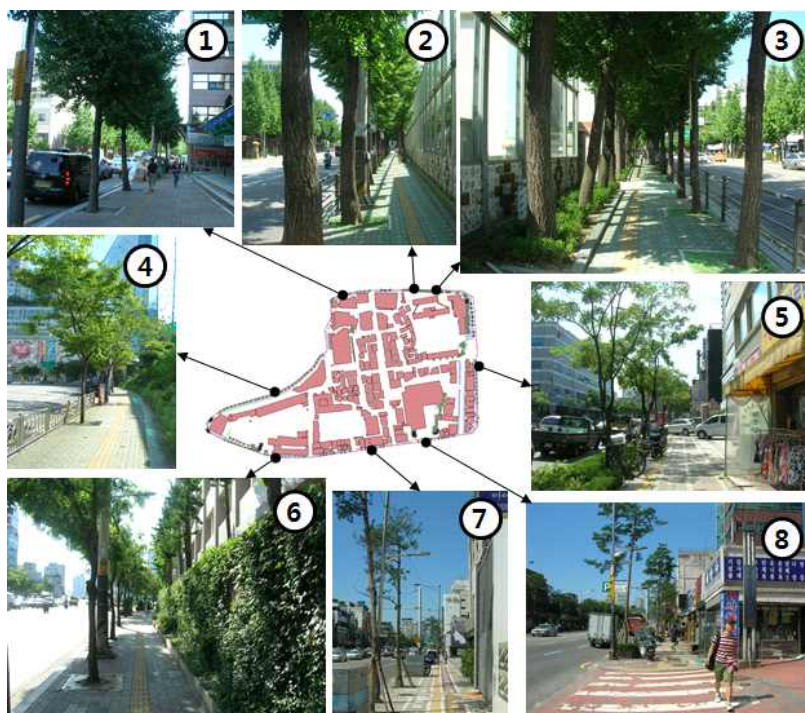
CC 블록 내 자투리 녹지들은 대부분 공공녹지가 아닌 공개공지의 녹지로서 존재하고 있었다. 녹지 면적에 있어서 상대적으로 큰 규모

를 가진 녹지들은 AX-Fig. 18상의 1번(603m²), 3번(796m²)이었는데, 1번 녹지의 경우 활엽 및 상록 교목과 관목으로 다층구조를 이루고 있으며, 가로에 선형으로 배치되어 있었다. 또한 3번 녹지의 경우 활엽교목을 중심으로 그늘을 형성하고, 하부에는 관목들을 배치하였고, 지면부는 토양으로 구성되어 있었다. 2번(143m²)의 경우 단풍나무와 느티나무로 이루어졌으며, 폭 1m의 플랜터 내에 1열 선형으로 식재되어 있었다.

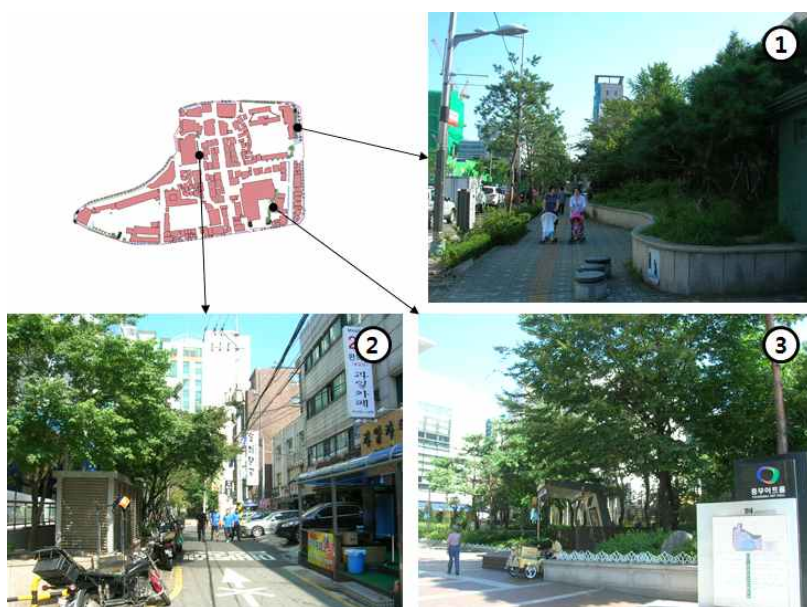
가로수와 자투리형 녹지들을 수관밀도에 영향을 주는 잎의 형태(활엽 혹은 침엽), 수종(교목 혹은 관목)으로 분류해 보았을 때, 전체 녹지면적은 5,500m²정도로 블록 CE의 1/3에 해당할 정도로 작은 규모였으며, 관목의 점유면적은 50%, 자투리형 녹지의 활엽교목류가 23%, 가로수형 녹지의 활엽교목류가 22%를 차지하고 있었다(AX-Tab. 6).

AX-Table 6. Characteristic of small green areas in block CC

Name	Classification			Number	Sum of area(m ²) (frequency%)	Averaged area(m ²)
	1	2	3			
SBT	Street	Broad	Tall	119	1,194.00(22)	10.039
SCT	Street	Coniferous	Tall	35	100.02(2)	2.86
PBT	Plot	Broad	Tall	120	1,268.24(23)	10.57
PCT	Plot	Coniferous	Tall	18	168.79(3)	9.38
PB	Plot	-	Bush	7	2,768.91(50)	395.56
Total					5,499.96(100)	

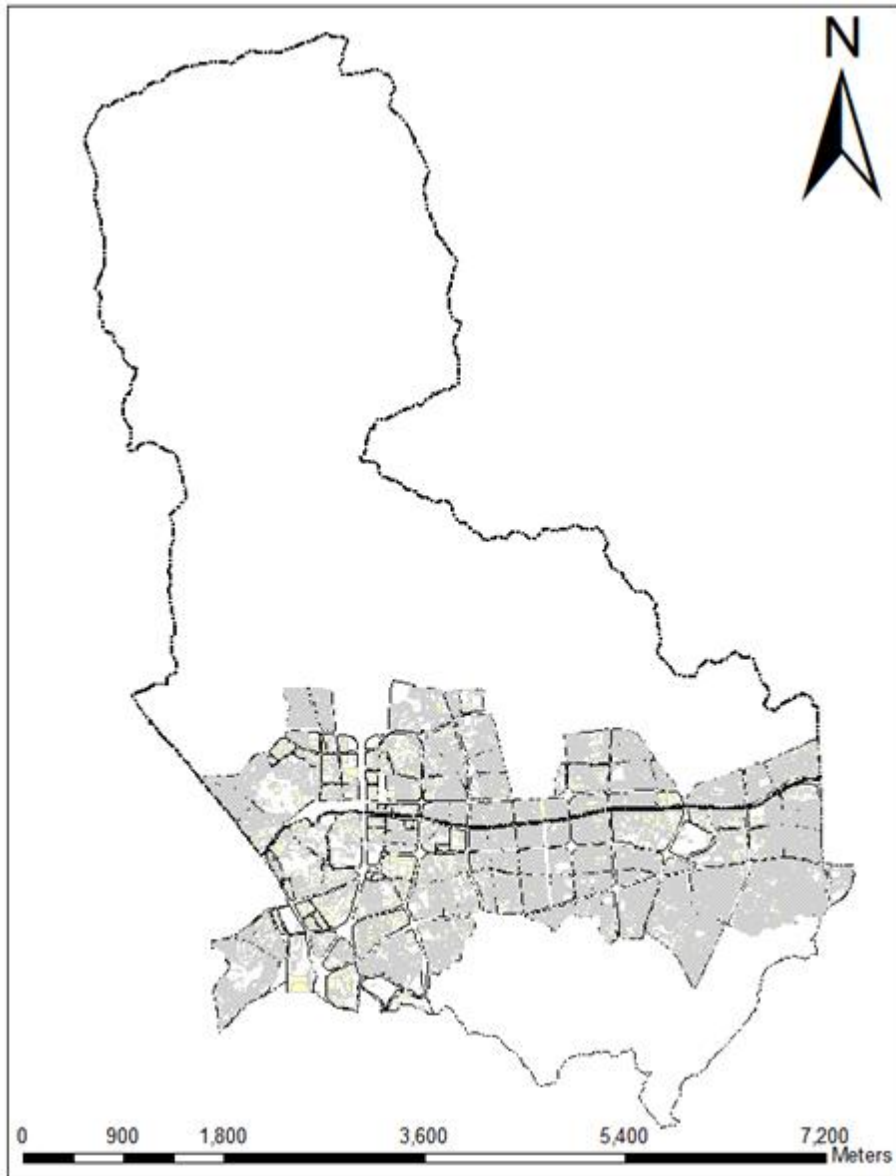


AX-Figure 17. Street trees in block CC



AX-Figure 18. Semi-Public green spaces in block CC

Appendix 2. 서울시 중구와 종로구의 블록현황



AX-Figure 19. Blocks in target regions

블록은 총 152개, 블록면적은 980~430,000m² 범위로 나타났다.

블록면적이 50,000m²이하가 65%(100개), 51,000~100,000m²가 23%(35개), 101,000m² 이상이 11%(17)의 빈도를 차지하고 있어 100개 이상의 블록이 50,000m² 보다 작았다. 블록 내 건물의 면적 점유율은 평균 40%를 보이고 있으나, 최대 71%, 최소 1%까지 편차가 다양하였다.

건물들이 블록 내에서 차지하는 총면적이 클수록 녹지율은 작아지는 경향을 보였다(AX-Tab. 7~10). 블록별 소규모 녹지면적의 경우, 가로수, 자투리녹지, 소공원 등의 면적을 포함하고 있으며, 블록 녹지율은 최대 59%, 최소 0%까지 었다(Appendix 2. Tab. 1~4).

블록녹지율이 5% 이하인 블록의 빈도는 40%를 보였며, 블록녹지율이 21~41%인 블록의 빈도는 10%였다(AX-Tab. 7~10).

이에 블록면적의 크기별로 분류하고, 블록의 면적이 동일하며, 블록 건폐율이 블록 전체 건폐율 평균과 비교적 동일한 건폐율 35~50% 정도의 블록들을 우선 선정하였다. 여기서 블록면적이 같고, 블록의 건폐율도 동일한 2개 이상의 블록 중 녹지율이 10%이상과 10% 이하를 만족시키는 블록을 1개씩 추출하여 3개의 블록그룹을 만들고, 이들의 평균층수를 산정하였다

AX-Table 7. 152 Blocks' index with Selecting indicators(1/4)

No.	Autonomous Region	Area(m ²)			Frequency(%)	
		Block	Buildings	Green	Buildings	Green
1	Jongno	972	339	57	34.9	5.9
2	Jung	2,553	1,952	383	76.5	15.0
3	Jung	2,710	921	279	34.0	10.3
4	Jung	3,486	991	1,152	28.4	33.0
5	Jung	3,647	2,437	637	66.8	17.5
6	Jongno	3,841	1,190	188	31.0	4.9
7	Jongno	3,845	1,358	324	35.3	8.4
8	Jung	4,038	1,411	536	34.9	13.3
9	Jongno	4,780	2,137	55	44.7	1.1
10	Jongno	5,016	2,018	177	40.2	3.5
11	Jung	5,017	1,855	575	37.0	11.5
12	Jung	5,295	1,571	654	29.7	12.4
13	Jung	5,662	2,069	658	36.6	11.6
14	Jongno	5,800	3,391	264	58.5	4.6
15	Jung	6,327	2,621	1,892	41.4	29.9
16	Jung	6,482	1,380	-	21.3	0.0
17	Jongno	7,009	3,721	233	53.1	3.3
18	Jongno	8,741	5,231	299	59.8	3.4
19	Jung	9,540	5,930	264	62.2	2.8
20	Jung	9,963	5,298	151	53.2	1.5
21	Jung	10,249	7,125	2,017	69.5	19.7
22	Jung	10,322	4,895	2,188	47.4	21.2
23	Jongno	10,777	3,586	6,447	33.3	59.8
24	Jung	10,894	2,901	509	26.6	4.7
25	Jung	11,036	4,238	361	38.4	3.3
26	Jongno	13,387	493	2,202	3.7	16.5
27	Jongno	13,861	4,420	1,015	31.9	7.3
28	Jung	13,868	5,668	2,490	40.9	18.0
29	Jung	14,435	7,557	858	52.4	5.9
30	Jung	14,447	9,831	-	68.1	0.0
31	Jung	14,728	9,847	8,700	66.9	59.1
32	Jongno	14,955	6,780	3,648	45.3	24.4
33	Jung	15,403	4,684	1,820	30.4	11.8
34	Jung	17,390	5,569	1,243	32.0	7.2
35	Jongno	17,519	6,388	1,490	36.5	8.5
36	Jung	17,777	9,458	1,688	53.2	9.5
37	Jongno	17,859	6,081	5,402	34.1	30.3
38	Jongno	17,955	8,398	1,805	46.8	10.1
39	Jung	18,333	8,149	917	44.5	5.0
40	Jung	18,496	6,060	1,083	32.8	5.9
41	Jongno	18,944	6,036	3,857	31.9	20.4
42	Jongno	20,329	10,191	453	50.1	2.2
43	Jung	20,618	11,381	510	55.2	2.5
44	Jung	20,948	7,342	2,908	35.1	13.9
45	Jongno	21,950	12,041	1,131	54.9	5.2

note) Sorted by Area of Block. Buildings : Building Coverage(Area of Buildings in the block), Green : Small Green space

AX-Table 8. 152 Blocks' index with Selecting indicators(2/4)

No.	Autonomous Region	Area(m ²)			Frequency(%)	
		Block	Buildings	Green	Buildings	Green
46	Jung	22,056	12,081	316	54.8	1.4
47	Jongno	22,607	6,495	761	28.7	3.4
48	Jung	22,993	11,526	3,266	50.1	14.2
49	Jongno	23,529	5,834	3,816	24.8	16.2
50	Jongno	23,546	5,675	1,268	24.1	5.4
51	Jongno	25,307	13,127	2,187	51.9	8.6
52	Jung	25,314	12,587	577	49.7	2.3
53	Jongno	25,691	11,979	1,525	46.6	5.9
54	Jongno	26,172	7,787	1,309	29.8	5.0
55	Jongno	26,196	14,427	5,154	55.1	19.7
56	Jung	26,816	6,507	479	24.3	1.8
57	Jung	26,923	5,192	3,729	19.3	13.9
58	Jung	26,965	13,192	1,393	48.9	5.2
59	Jung	27,288	7,889	2,556	28.9	9.4
60	Jongno	27,530	12,026	-	43.7	0.0
61	Jongno	27,722	12,269	2,604	44.3	9.4
62	Jung	27,776	13,307	1,298	47.9	4.7
63	Jongno	27,865	14,023	4,053	50.3	14.6
64	Jung	28,311	15,000	5,716	53.0	20.2
65	Jongno	28,832	15,829	1,316	54.9	4.6
66	Jongno	30,478	16,541	6,793	54.3	22.3
67	Jung	30,578	17,883	54	58.5	0.2
68	Jung	31,146	13,663	547	43.9	1.8
69	Jung	32,277	17,731	531	54.9	1.6
70	Jongno	33,067	15,574	-	47.1	0.0
71	Jung	34,999	13,971	1,033	39.9	3.0
72	Jung	35,297	847	3,628	2.4	10.3
73	Jongno	36,423	19,499	2,048	53.5	5.6
74	Jung	36,561	17,960	1,883	49.1	5.2
75	Jung	37,483	23,587	1,556	62.9	4.2
76	Jongno	38,512	25,768	1,782	66.9	4.6
77	Jung	39,530	4,616	39,016	11.7	98.7
78	Jongno	39,773	17,295	1,083	43.5	2.7
79	Jung	40,073	23,872	598	59.6	1.5
80	Jongno	40,547	14,930	1,867	36.8	4.6
81	Jung	41,172	25,928	-	63.0	0.0
82	Jongno	42,339	16,892	2,500	39.9	5.9
83	Jongno	42,840	11,380	10,323	26.6	24.1
84	Jung	43,235	25,042	-	57.9	0.0
85	Jongno	44,840	22,710	2,674	50.7	6.0
86	Jung	45,408	31,261	-	68.8	0.0
87	Jung	45,515	26,993	-	59.3	0.0
88	Jung	45,605	26,655	120	58.5	0.3
89	Jongno	45,840	26,745	7,955	58.3	17.4
90	Jongno	45,922	29,678	129	64.6	0.3

note) Sorted by Area of Block. Buildings : Building Coverage(Area of Buildings in the block), Green : Small Green space

AX-Table 9. 152 Blocks' index with Selecting indicators(3/4)

No.	Autonomous Region	Area(m ²)			Frequency(%)	
		Block	Buildings	Green	Buildings	Green
91	Jung	46,156	22,267	6	48.2	0.0
92	Jung	46,631	23,086	5,766	49.5	12.4
93	Jongno	48,832	30,468	572	62.4	1.2
94	Jung	48,954	23,768	1,746	48.6	3.6
95	Jung	48,989	18,271	7,118	37.3	14.5
96	Jung	49,103	20,463	1,171	41.7	2.4
97	Jung	49,815	31,116	2,687	62.5	5.4
98	Jung	50,390	20,925	1,897	41.5	3.8
99	Jung	50,413	474	24,872	0.9	49.3
100	Jung	50,944	21,242	4,094	41.7	8.0
101	Jung	51,351	31,031	8,507	60.4	16.6
102	Jongno	51,802	28,335	8,785	54.7	17.0
103	Jongno	52,029	22,188	1,843	42.6	3.5
104	Jung	55,765	23,666	4,893	42.4	8.8
105	Jung	56,164	18,857	-	33.6	0.0
106	Jongno	58,786	28,542	15,939	48.6	27.1
107	Jung	61,117	27,220	5,665	44.5	9.3
108	Jongno	65,270	29,696	12,699	45.5	19.5
109	Jung	65,313	30,593	7,371	46.8	11.3
110	Jung	66,401	27,280	18,600	41.1	28.0
111	Jung	66,949	24,830	1,739	37.1	2.6
112	Jongno	67,011	34,340	5,384	51.3	8.0
113	Jung	69,800	43,721	1,932	62.6	2.8
114	Jung	70,481	26,816	6,886	38.1	9.8
115	Jongno	71,537	35,816	7,567	50.1	10.6
116	Jung	76,795	5,781	2,583	7.5	3.4
117	Jung	80,675	47,015	1,185	58.3	1.5
118	Jongno	82,395	45,364	2,842	55.1	3.5
119	Jung	82,644	39,003	5,687	47.2	6.9
120	Jongno	83,244	40,105	1,260	48.2	1.5
121	Jung	83,850	43,480	483	51.9	0.6
122	Jung	84,282	42,648	-	50.6	0.0
123	Jongno	88,223	42,197	3,467	47.8	3.9
124	Jongno	88,485	63,557	46,331	71.8	52.4
125	Jung	89,529	19,853	20,921	22.2	23.4
126	Jongno	90,001	39,156	18,010	43.5	20.0
127	Jung	92,813	53,262	-	57.4	0.0
128	Jongno	94,723	44,903	1,536	47.4	1.6
129	Jung	94,888	43,379	7,124	45.7	7.5
130	Jung	97,844	36,785	1,074	37.6	1.1
131	Jung	98,102	43,777	6,302	44.6	6.4
132	Jung	98,375	34,480	37,339	35.1	38.0
133	Jung	108,151	38,457	9,707	35.6	9.0
134	Jongno	109,209	45,261	16,266	41.4	14.9
135	Jongno	109,634	41,459	19,172	37.8	17.5
136	Jung	111,859	57,913	4,506	51.8	4.0
137	Jongno	112,874	41,507	21,989	36.8	19.5

note) Sorted by Area of Block. Buildings : Building Coverage(Area of Buildings in the block), Green : Small Green space

AX-Table 10. 152 Blocks' index with Selecting indicators(4/4)

No.	Autonomous Region	Area(m ²)			Frequency(%)	
		Block	Buildings	Green	Buildings	Green
138	Jongno	115,189	64,597	3,998	56.1	3.5
139	Jung	115,380	46,705	5,789	40.5	5.0
140	Jongno	127,145	63,315	8,180	49.8	6.4
141	Jung	129,230	35,435	18,470	27.4	14.3
142	Jung	136,718	61,637	16,636	45.1	12.2
143	Jung	166,105	54,292	44,800	32.7	27.0
144	Jung	174,187	73,090	31,031	42.0	17.8
145	Jung	183,177	95,713	9,932	52.3	5.4
146	Jung	185,161	69,515	8,248	37.5	4.5
147	Jung	199,567	78,020	39,559	39.1	19.8
148	Jongno	202,761	59,738	24,660	29.5	12.2
149	Jung	272,649	93,741	13,271	34.4	4.9
150	Jongno	334,913	103,741	58,891	31.0	17.6
151	Jung	357,227	147,096	24,400	41.2	6.8
152	Jung	428,832	196,503	47,909	45.8	11.2

note) Sorted by Area of Block. Buildings : Building Coverage(Area of Buildings in the block), Green : Small Green space

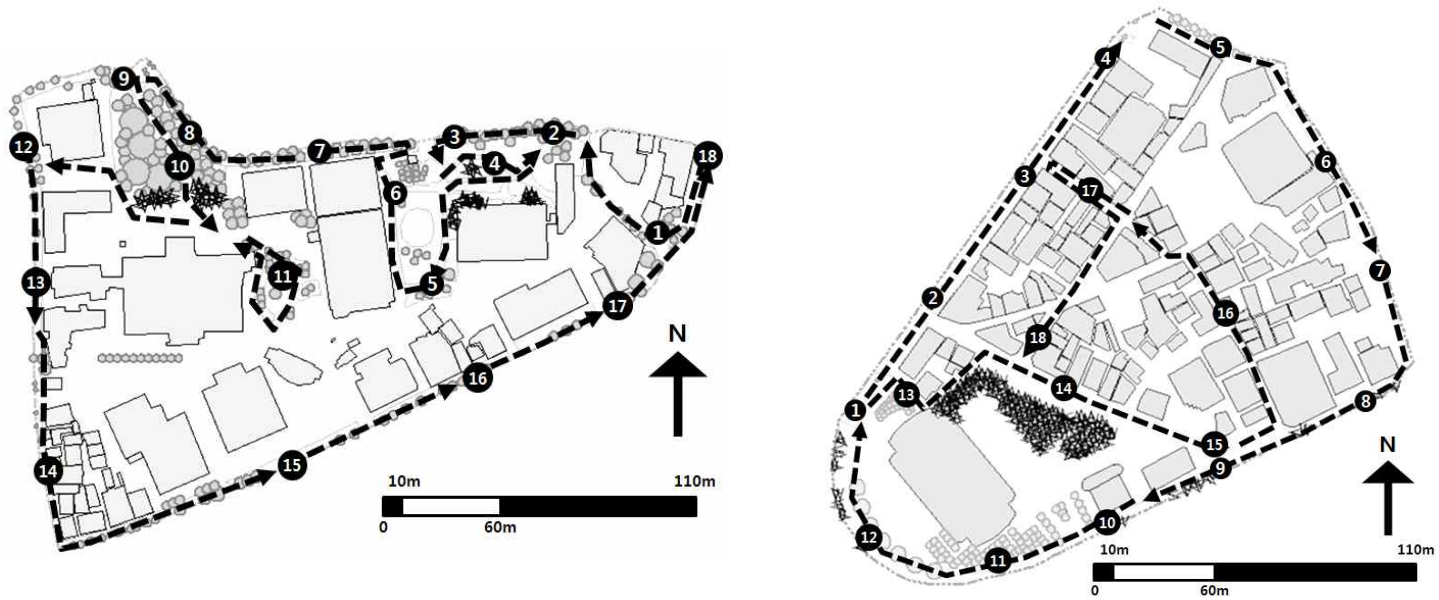
Appendix 3. 반복기온측정 조건

AX-Table 11. Measurement date, time and repeat

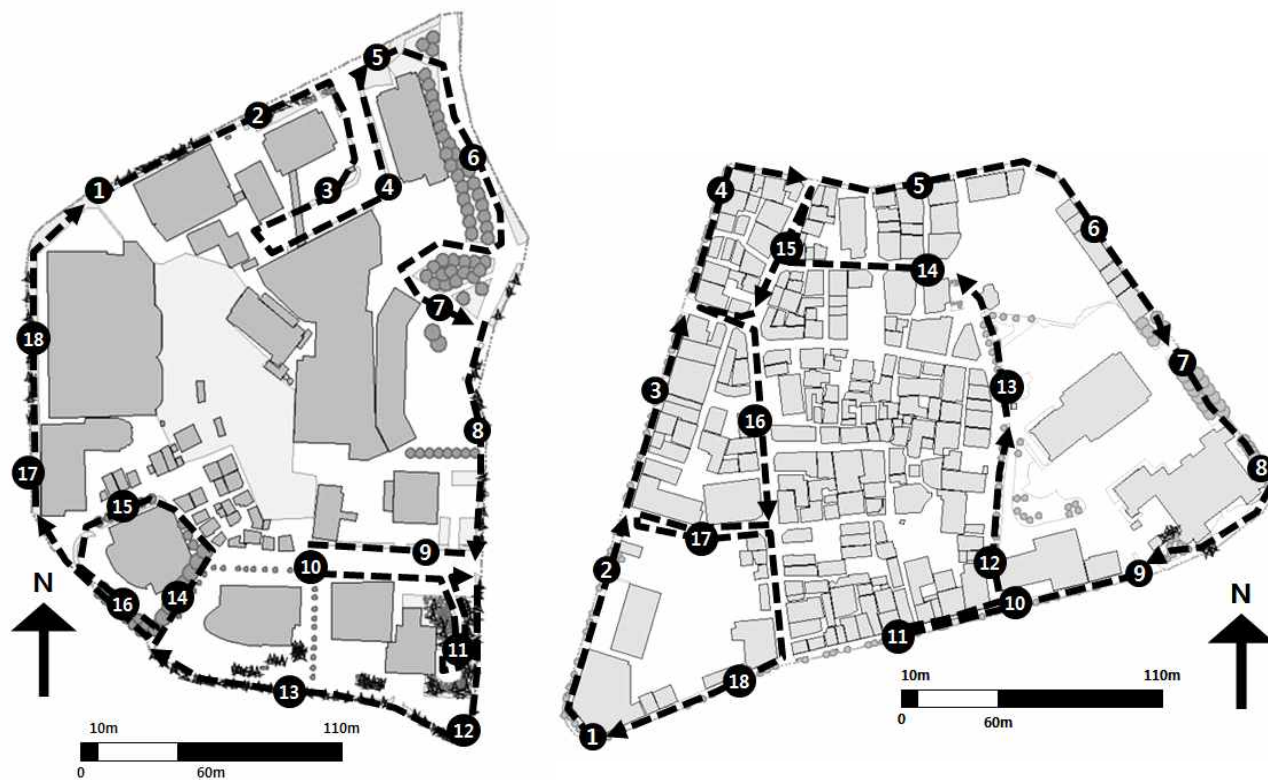
Measuring condition		Block group		
Repeat	Classification	AE and AC	BE and BC	CE and CC*
I	Date	Aug. 9th	Aug. 9th	Sep. 6th
	Time	14:00~14:58	12:46~13:52	15:28~17:22
	Repeat count	3	3	3
	Weather	Serenity	Serenity	Serenity
II	Date	Aug. 16th	Aug. 16th	Sep. 7th
	Time	17:16~17:56	16:00~16:58	12:50~14:30
	Repeat count	3	3	4
	Weather	Serenity	Serenity	Serenity
III	Date	Aug. 27th	Aug. 27th	Sep. 11th
	Time	16:00~16:58	13:33~14:31	13:00~14:40
	Repeat count	3	3	4
	Weather	Serenity	Serenity	Serenity

note) Measuring year is 2012. Block group C has different repeat count in II and III from other groups because measuring devices was two. The reason of using double devices on block group C was that the size of the blocks was so big to take 2hours of required measurement.

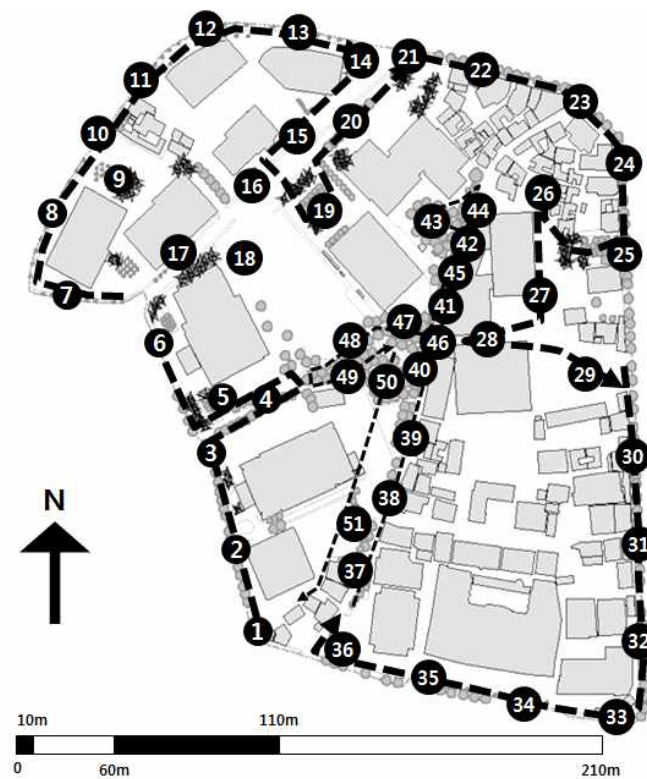
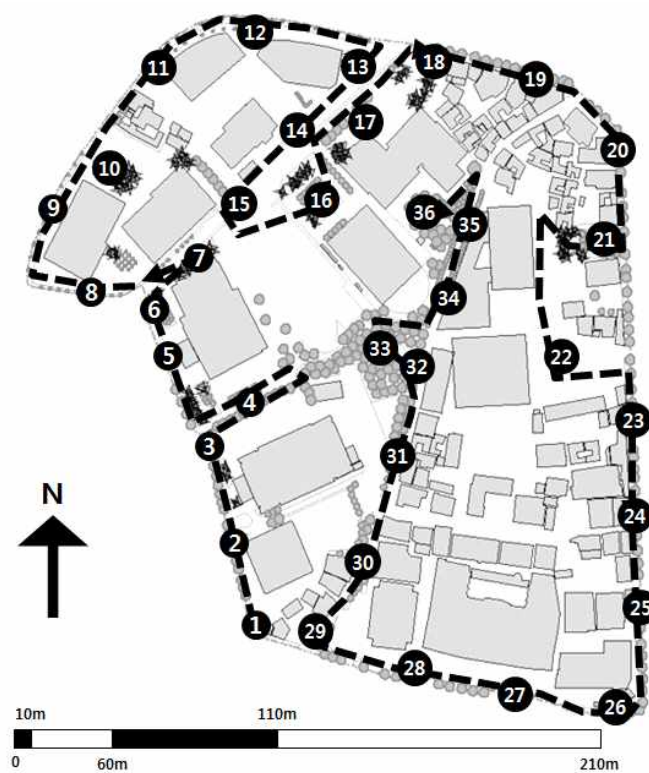
Appendix 3. 블록별 기온측정지점 및 이동루트에 관한 주제도



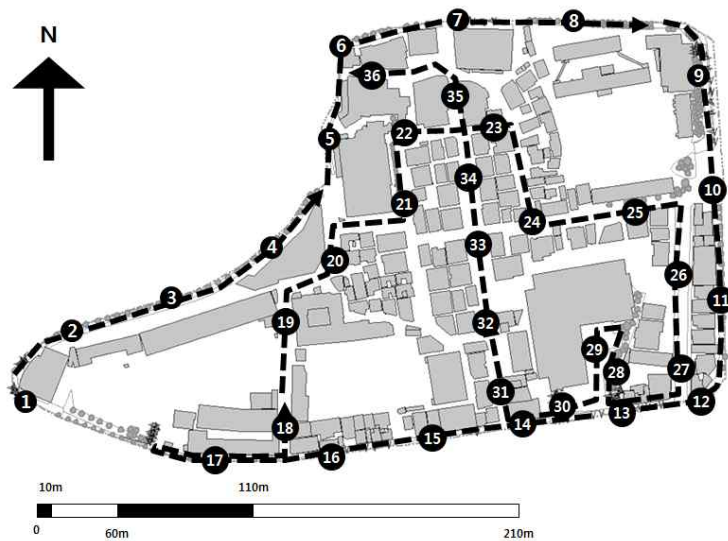
AX-Figure 20. Walking route and points in Block AE(left) and AC(right)



AX—Figure 21. Walking route and points in Block BE(left) and BC(right)









AX-Figure 22. Walking route and points in Block CE - Repeat 1(left) & 2,3(right)









AX-Figure 23. Walking route and points in Block CC - Repeat 1(left) & 2,3(right)

Appendix 4. 블록별 일조분석 결과

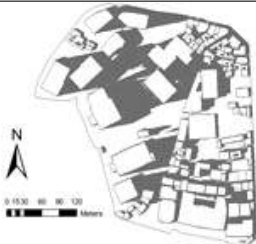


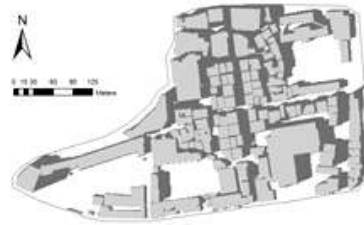
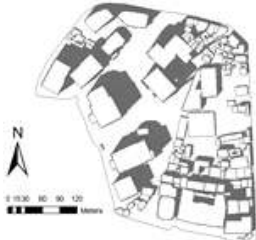
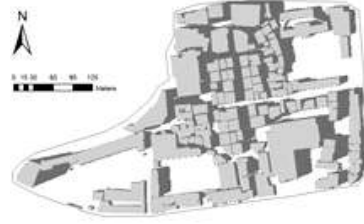
AX-Table 12. Result of Solar Radiation Analysis in block group A

Block group	Repeat		Experimental block AE	Control block AC
A	I	Aug. 9th 14:00-14:58		
	II	Aug. 16th 17:16-17:56		
	III	Aug. 27th 16:10-16:58		

AX-Table 13. Result of Solar Radiation Analysis in block group B

Block group	Repeat		Experimental block BE	Control block BC
B	I	Aug. 9th 12:46-13:52		
	II	Aug. 16th 16:00-16:44		
	III	Aug. 27th 13:33-14:21		

AX-Table 14. Result of Solar Radiation Analysis in block group C

Block group	Repeat		Experimental block CE	Control block CC
C	I	Sep. 6th 15:28-17:22		
	II	Sep. 7th 13:00-14:45		
	III	Sep. 11th 13:00-14:30		



AX—Figure 24. Comparison simulated data with real ones in solar radiation
 photographed October 2012, by Park, Jong Hoon

Appendix 5. 블록별 건물그늘, 녹지, 양지 분류군

AX-Table 15. Air temperature points of building shade, small green, and sunny place in block group A and B

No.	A				B			
	AE		AC		BE		BC	
	temp	sort	temp	sort	temp	sort	temp	sort
1	31.5	2	32.9	3	32.1	2	32.7	2
2	31.6	2	32.9	1	32.1	2	32.9	2
3	31.9	2	33.1	3	32.2	2	32.9	2
4	32.1	3	33.1	3	32.3	1	33	2
5	32.4	2	33	1	32.4	1	33	2
6	32.5	1	33	1	32.4	1	33	1
7	32.5	3	33.1	1	32.4	2	33.2	1
8	32.5	2	33	1	32.4	2	33.2	2
9	32.7	3	33.1	1	32.5	3	33.2	2
10	32.7	1	33	1	32.6	3	33.3	1
11	32.7	3	32.7	2	32.7	1	33.4	3
12	32.7	3	32.9	3	32.7	3	33.5	3
13	33.2	1	32.8	2	32.7	3	33.6	3
14	33.5	1	32.9	1	32.9	3	33.7	3
15	33.6	1	33	1	33	3	33.7	3
16	33.7	3	33	1	33	3	33.7	3
17	33.7	1	33.1	1	33.4	3	33.8	3
18	34	3	33	1	33.4	3	33.9	3

note) sort number 1 is a point of building shade, 2 of Small green, and 3 of sunny space,

AX–Table 16. Air temperature points of building shade, small green, and sunny place in block group C

No.	CE		CC		No.	CE		CC	
	temp	sort	temp	sort		temp	sort	temp	sort
1	28.1	2	30.0	1	27	30	2	32.1	1
2	28.2	2	30.3	2	28	30.1	2	32.1	1
3	28.5	2	30.3	1	29	30.1	1	32.1	3
4	28.7	2	30.6	1	30	30.1	1	32.2	1
5	28.8	2	30.6	2	31	30.3	2	32.3	3
6	28.8	2	30.8	1	32	30.3	3	32.4	3
7	28.8	1	30.8	1	33	30.5	1	32.4	1
8	28.9	1	30.9	1	34	30.5	1	32.5	2
9	28.9	1	31.0	2	35	30.6	1	32.5	3
10	29.1	1	31.2	2	36	30.6	3	32.6	1
11	29.1	1	31.2	2	37	30.7	1	32.7	1
12	29.3	1	31.2	1	38	30.9	1	32.8	1
13	29.4	3	31.3	1	39	31	1	32.8	1
14	29.4	2	31.4	1	40	31.1	3	32.8	2
15	29.4	1	31.4	1	41	31.1	3	32.9	3
16	29.4	2	31.5	1	42	31.3	3	32.9	3
17	29.5	2	31.5	1	43	31.3	3	32.9	2
18	29.5	2	31.6	2	44	31.3	3	32.9	3
19	29.6	2	31.6	2	45	31.4	3	33.0	3
20	29.6	1	31.6	1	46	31.6	3	33.1	3
21	29.6	1	31.7	1	47	31.7	3	33.3	1
22	29.6	1	31.7	1	48	31.7	3	33.5	3
23	29.7	1	31.8	1	49	31.9	3	33.6	3
24	29.7	2	31.9	1	50	32.1	3	34.3	3
25	30	2	31.9	1	51	32.2	3	34.4	3
26	30	2	32.1	1					

note) sort number 1 is a point of building shade, 2 of Small green, and 3 of sunny space,

Appendix 6. 소규모 녹지 유형별 및 규모별 ΔT_{HP-SGP}

AX-Table 17. Scale information of small green from blocks(1/2)

No.	Block	Type1	Type2	(°C)	Area(m ²)	Volume(m ³)
1	AC	polygon	single	0.4	113.4	1334.7
2	AC	polygon	mixed	0.5	133.5	1334.7
3	AC	polygon	single	0.7	223.5	1120.3
4	BC	linear	single	0.7	70.0	157.0
5	BC	linear	single	0.8	28.3	50.0
6	CE	polygon	mixed	0.9	253.1	1568.2
7	CE	linear	single	0.9	12.6	32.0
8	BC	linear	single	1.0	28.3	50.0
9	BC	linear	single	1.0	28.3	50.0
10	BC	linear	single	1.1	592.1	1120.0
11	BC	linear	single	1.1	70.0	157.0
12	CE	polygon	single	1.2	243.7	1601.2
13	BE	linear	single	1.2	243.1	1580.0
14	AE	polygon	single	1.3	265.3	1598.2
15	BC	linear	single	1.3	169.6	1301.0
16	AE	linear	single	1.4	70.0	157.0
17	AE	linear	single	1.4	692.4	1780.1
18	BE	linear	mixed	1.5	395.64	1965.4
19	CC	linear	mixed	1.5	250.6	1760.1
20	CE	linear	single	1.6	346.2	2230.4
21	BE	polygon	mixed	1.6	320	2369.4
22	BE	linear	mixed	1.6	569	5230.1
23	CC	polygon	mixed	1.6	435.1	4890.3
24	AE	linear	single	1.6	653.1	3033.2
25	AE	linear	single	1.8	650.0	3231.2
26	CE	linear	single	1.9	389.5	1865.0
27	CC	polygon	mixed	2.0	523.9	5689.4
28	CE	linear	single	2.2	410.3	3589.1
29	CE	linear	single	2.5	408.2	3568.3
30	CE	polygon	mixed	2.7	753.2	6001.8

note) ΔT_{HP-SGP} : $T_{HP} - T_{SGP}$; Air temperature reduction effect in a block

AX–Table 18. Scale information of small green from blocks(2/2)

No.	Block	Type1	Type2	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	Area(m^2)	Volume(m^3)
31	CE	polygon	mixed	2.7	859.4	7795.1
32	CE	linear	single	2.8	565.3	5698.1
33	CE	linear	single	2.8	878.6	12311.3
34	CE	linear	single	2.9	169.6	1301.0
35	CE	linear	single	3.0	276.3	1368.1
36	CE	linear	single	3.4	276.3	1368.1
37	CE	linear	single	3.4	276.3	1368.1
38	CE	linear	single	3.5	1056.0	3695.3
39	CE	polygon	mixed	3.5	1738.0	9270.0
40	CE	polygon	mixed	3.6	1774.0	9347.5
41	CE	polygon	mixed	3.8	1801.0	9899.5
42	CC	linear	single	3.8	255.4	1354.2
43	CE	polygon	mixed	4.1	1962.3	10365.0
44	CC	linear	single	4.1	75.4	165.0
45	CE	polygon	mixed	4.2	1802.5	10210.0

note) ΔT : $T_{\text{IHP}} - T_{\text{SGP}}$; Air temperature reduction effect in a block

Abstract

Air Temperature Reduction Effects of Small Green Spaces in Urban Blocks of Seoul, Korea

Park, Jong Hoon
Interdisciplinary Program in Landscape Architecture
The Graduate School
Seoul National University

Since Urban Heat Island (UHI) is an immediate cause of excessive heat wave and tropical night in summer, the countermeasures for mitigation of UHI are highly required. There is growing need of UHI mitigation to exploit urban forestry and green spaces for cool islands, as they are considered to be a substitute for artificial land cover which mainly intensifies UHI. Although large scale urban cool islands can play an important role of UHI mitigation in a broad scale, it is not a practical option to expand them because of social and economical cost. On the other hand, small scale urban green spaces, street trees, semi-private planted spots and small parks, are considered as a practical option to mitigate UHI in a fine scale.

In conventional researches, insufficient experiment has been done at the identical spatial unit with various sizes and types of green space of controlled site and experimental site. By

doing so, insufficient theoretical base is lacking to use a policy guideline in urban green plan.

Therefore, as a mitigation factor of microscopic UHI, it is highly required to research air temperature reduction effects of small green spaces depending on their disposition, types and sizes in microscopic urban spatial unit.

The research objective is to evaluate air temperature reduction effects of small green spaces in microscopic urban spatial unit, which in this case a block. Additional objective is to suggest small greens' disposition, types and sizes to reduce air temperature effectively in urban blocks.

Research sites have been selected by sequential analysis in accordance with spatial hierarchy; from urban to regional to microscopic scale. Jung-gu and Jongno-gu of Seoul, Korea, have been selected as research sites because of high artificial land cover rate. From Jung-gu and Jongno-gu, 6 blocks of 3 groups, namely group A, B and C, were selected depending on their sizes. The homogeneity conditions of the selected groups are block area, plot coverage and average building height, while the heterogeneity condition of the selected groups was the ratio of green in a block. In other words, experiment blocks of group A, B and C have higher ratio of green than the control blocks have.

Air temperature was measured with mobile logger in clear daytime during summer, from August to September, 1.5m above from the ground. It takes 1 hour ~ 1.5 hour at a time, and repeated for three days. Two persons measured the temperature by walking and circulating around the experiment

and control blocks at the same time, three times a day.

Collected data was converted into spatial points in a block. Also, solar radiation analysis was done by using ArcGIS 9.3 with input set of time and date.

To evaluate air temperature reduction effect of small green spaces, averaged air temperature difference between experiment and control block ($\Delta T_{Con-Exp}$) was analyzed using paired t-Test in SPSS 12.0. Averaged air temperature of 3 classifications, which are sunny points, building shade points and small green points, were analyzed by using Kruskal-Wallis Test in SPSS 12.0 by block in order to see the significance of the result.

The highest air temperature (T_{HP}) and the lowest air temperature (T_{LP}) of the block were extracted whether to see if they have green or not on that point to evaluate the correlation between air temperature and land cover characteristics.

Small green spaces in 6 blocks were classified into 4 types based on their appearance (polygon or linear) and vegetation structure (single or mixed). Area and volume of small green spaces were calculated. The air temperature reduction effect of small green spaces in a block is defined as air temperature difference between T_{NGP} (air temperature of non-green point) and T_{SGP} (air temperature of small green point), which is $\Delta T_{NGP-SGP}$. Correlation analysis between $\Delta T_{NGP-SGP}$ (dependent variable) and areas and volumes (independent variables) of small greens' respectively, were done using simple linear regression.

The research results in overall, max. 2.2°C of air temperature reduction of small green space at $\Delta T_{Con-Exp}$ and max. 4.2°C of air temperature reduction of $\Delta T_{NGP-SGP}$ were shown throughout the experiments.

The detailed results were as follows

First, in block group A, block area is 50,000m² and the green space ratio is 14.5% at the experiment block whereas 2.4% at the control block, $\Delta T_{Con-Exp}$ was max. 0.8°C; in block group B, block area is 98,000m² and the green space ratio is 38% at the experiment block whereas 6.4% at the control block, $\Delta T_{Con-Exp}$ was max. 1.9°C; in block group C, block area is 110,000m² and the green space ratio is 19.5% at the experiment block whereas 9% at the control block, $\Delta T_{Con-Exp}$ was max. 2.2°C. To conclude, at least 20% of green space in a block is required to drop 2°C of air temperature.

Secondly, the air temperature reduction at block group A, B and C is 0.4°C ~ 2.9°C with significance level of 99% in block group B and C, and 90% in block group A. The temperature reduction effect of the green space is 1.5°C more effective than sunny non-green space, and 0.5°C more effective than building shade.

Thirdly, the highest air temperature in the block (T_{HP}) tends to occur at sunny place (T_{SP}), which consists of artificial land cover, such as impervious pavement and concrete walls. The lowest air temperature in the block (T_{LP}) tends to occur at close to small green and building shade. Air temperature difference between sunny place and small green ($\Delta T_{NGP-SGP}$) is around 0.8°C ~ 4.0°C.

Lastly, among 45 small green spaces extracted from 6 blocks, there were 16 polygon, 29 linear, 30 single and 15 mixed. Polygon and mixed types have simple linear regression model with sig. 99% and R² 90%. As the area and volume of these types increased, the effect of air temperature reduction in a block ($\Delta T_{NGP-SGP}$) also increased in a linear relationship. The

experimental range of this research is 100m² ~ 2,000m² of area, and 1,000m³ ~ 10,000m³ volume of small green space. As a result, more than 200m² and 2,000m³ of polygonal green space with mixed vegetation is required to lower 1°C, and 650m² and 5,000m³ of polygonal green space with mixed vegetation is required to lower 2°C, and so on with 3°C and 4°C air temperature reduction within this experimental range.

In conclusion, microscopic urban spatial unit should be considered in establishing practical countermeasure for mitigating UHI, and urban small green spaces could be a practical solution for micro scale UHI. The result shows that effectively arranged small green spaces could reduce air temperature in a fine scale of urban area. By elaborating the range and criteria of the air temperature reduction using urban small green space, this research is meaningful in offering legal improvement and policy making for UHI mitigation.

Hereafter, UHI mitigation effect in urban area could be improved with higher technology of measurement and more various land use pattern. By doing so, collected data could derive more accurate prediction of UHI and their application of mitigation plan.

keywords : UHI mitigation, urban green size, temperature reduction effect, local climate zone, mobile measurement, microscopic urban spatial unit

Student Number : 2008–30681